

МОЛОДОЙ

ISSN 2072-0297

УЧЁНЫЙ

ежемесячный научный журнал

$$V_m = 22,4 \text{ л/моль}$$

Fisica de'
Corpi

ponderabili

$$(P_0, T_0 = 273 \text{ K})$$

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

9

2013

Часть I



Amperometro

generatore di corrente



ISSN 2072-0297

Молодой учёный

Ежемесячный научный журнал

№ 9 (56) / 2013

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-38059 от 11 ноября 2009 г.

Журнал входит в систему РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) на платформе elibrary.ru.

Журнал включен в международный каталог периодических изданий «Ulrich's Periodicals Directory».

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Галия Дуфаровна, *доктор филологических наук*

Члены редакционной коллегии:

Ахметова Мария Николаевна, *доктор педагогических наук*

Иванова Юлия Валентиновна, *доктор философских наук*

Лактионов Константин Станиславович, *доктор биологических наук*

Комогорцев Максим Геннадьевич, *кандидат технических наук*

Ахметова Валерия Валерьевна, *кандидат медицинских наук*

Брезгин Вячеслав Сергеевич, *кандидат экономических наук*

Котляров Алексей Васильевич, *кандидат геолого-минералогических наук*

Яхина Асия Сергеевна, *кандидат технических наук*

Насимов Мурат Орленбаевич, *кандидат политических наук*

Ответственный редактор: Кайнова Галина Анатольевна

Художник: Евгений Шишков

Верстка: Павел Бурьянов

На обложке изображен Амедео Авогадро — итальянский учёный, физик и химик.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

672000, г. Чита, ул. Бутина, 37, а/я 417.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель: ООО «Издательство Молодой ученый»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»

127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Пономаренко А.Н.**
Несобственные интегралы. Метод обратных координат1
- Синь Вэнь, Вяткин А.В., Шайдуров В.В.**
Semi-Lagrangian Scheme for Solving Hyperbolic Equation of First Order 6

ХИМИЯ

- Румянцева Е.Л.**
Реологические свойства поликомпонентной гипсосодержащей суспензии14

ИНФОРМАТИКА

- Дупленко А.Г.**
Эволюция способов и алгоритмов сортировки данных в массивах 17
- Четвериков М.А.**
Развёртывание системы GridGain для решения реальной математической задачи19
- Чугреев В.Л.**
Разработка сервис-ориентированной архитектуры в ИСЭРТ РАН23

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

- Арискин М.В., Гуляев Д.В., Родина Е.В.**
Исследование работы рам в зависимости от способа закрепления29
- Арискин М.В., Родина Е.В., Гуляев Д.В.**
Методика построения конечно-элементной модели34

- Бобина М.А.**
Особенности организации и оформления грузов при международных перевозках в контейнерах, с предварительной кантовкой их при погрузке 37
- Богачев Д.А.**
Каталитическое разделение сырой нефти под воздействием матричных структур..... 40
- Григоренко И.В.**
Систематизация дефектов ювелирных сплавов и их влияния на показатели надежности и безопасности43
- Кононов П.В., Востров В.Н.**
Конечно-элементное моделирование процесса раскатки фланца на трубчатой заготовке.....46
- Коротков А.В.**
К вопросу о выборе метода многокритериального оценивания компоновок мехатронного модуля в условиях автоматизированного проектирования.....49
- Кудрявцев И.В., Барыкин Е.С., Гоцелюк О.Б.**
Математическая модель нагрева волновода при передаче сигналов высокой мощности52
- Лукин А.А., Пирожинский С.Г.**
Перспективы создания растительных масел функционального назначения..... 57
- Мустафаев Г.А., Сидорчик Е.В.**
Использование датчиков адаптивного управления для повышения качества обработки деталей на станке с ЧПУ 60
- Рипецкий А.В., Зеленев С.В., Анамова Р.Р.**
Анализ методов трассировки применительно к задаче разводки волноводных трактов фазированных антенных решеток.....62

| | |
|---|----|
| Сенюшкин Н.С., Лоскутников А.А., Белобровина М.В., Салимова И.И., Жеребило В.Ю. | 72 |
| Применение авиационных ГТУ в энергетике..... | |
| Фадеева Г.Д., Гарькин И.Н., Железняков Л.А. | 75 |
| Меры повышения безопасности строительных конструкций при террористической угрозе..... | |
| Чупрова Л.В., Ершова О.В., Муллина Э.Р. | 77 |
| Химико-технологические аспекты проблемы окисления медных контактов электрооборудования, эксплуатируемого в цехах очистки воды..... | |

БИОЛОГИЯ

| | |
|---|----|
| Крюкова К.А. | 81 |
| Сезонное развитие <i>Tilia cordata</i> Mill. и <i>Padus taackii</i> (Rupr.) Kom. в городе Томске..... | |

МЕДИЦИНА

| | |
|--|----|
| Дёмин А.В., Сидорова О.В., Волова А.А. | 84 |
| Особенности постурального баланса у городских пожилых мужчин, занимающихся садоводством и огородничеством..... | |
| Лысейко Н.В. | 87 |
| Методы диагностики нарушений окклюзионных контактов зубов (обзор литературы)..... | |
| Степаненко Н.А. | 91 |
| Роль мультidetекторной компьютерной томографии в диагностике и дифференциальной диагностике кистозных образований почек..... | |
| Чуйко А.Н., Левандовский Р.А., Угрин М.М., Беликов А.Б. | 98 |
| Термины фиксация и стабилизация с позиций биомеханического анализа..... | |

ГЕОГРАФИЯ

| | |
|---|-----|
| Белоусова О.Р. | 109 |
| Место регионов Юга России в инвестиционном потенциале и инвестиционном риске российских регионов..... | |

ЭКОЛОГИЯ

| | |
|--|-----|
| Колосов Д.Ф. | 116 |
| Экологическая уязвимость почвенно- растительного покрова юго-восточной части Большеземельской тундры..... | |
| Кутковский К.А. | 119 |
| Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей..... | |
| Пичугин Е.А. | 122 |
| Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду..... | |
| Пичугин Е.А. | 124 |
| Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно- строительного материала..... | |

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

| | |
|--|-----|
| Рыжков В.А., Рыжков Е.В. | 127 |
| Эффективность скармливания сапропелевой кормовой добавки в составе комбикорма на продуктивные качества свиноматок и на продуктивность и качество мяса молодняка свиней выращенного от них..... | |

МАТЕМАТИКА

Несобственные интегралы. Метод обратных координат

Пономаренко Артем Николаевич, студент

Национальный педагогический университет им. Драгоманова (Украина, г. Киев)

В данной статье представлена связь между несобственными интегралами первого рода и несобственными интегралами второго рода, а также особые приемы вычисления несобственных интегралов. Если имеется значение некоторого, не берущегося элементарно, несобственного интеграла, то методом поворота координат и переходом к обратной функции можно отыскать значение еще нескольких не берущихся интегралов.

Перед изложением основных формул будет представлен несколько иной метод нахождения интеграла

$$I = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx$$

Рассмотрим тождество:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln 2 dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx \tag{1}$$

которое очевидно справедливо, так как $\sin 2x = 2 \sin x \cos x$

С другой стороны:
$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \ln \sin t dt = \frac{1}{2} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin t dt + \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \ln \sin t dt \right)$$

В свою очередь,
$$\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} \ln \sin t dt = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos z dz \quad (\text{подстановка: } t = z + \frac{\pi}{2})$$

Тогда
$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx = \frac{1}{2} \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx \right),$$

и исходя из этого,
$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx$$

Подставляя этот последний результат в формулу (1):

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx = \frac{\pi}{2} \ln 2 + 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin 2x dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2 \tag{2}$$

Исходя из (2) и (1):

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx = -\pi \ln 2 \quad (3)$$

Это тождество можно представить в виде: $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx + \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(d(\sin x)) dx = -\pi \ln 2$, так как

$\cos x = d(\sin x)$. Если в интеграле $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(d(\sin x)) dx$ произвести подстановку $x = t + \frac{\pi}{2}$, то он будет иметь вид:

$$\int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \ln(d(\cos t)) dt = \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \ln(-\sin t) dt = \int_{-\frac{\pi}{2}}^0 \ln(\sin(-t)) dt.$$

Последний интеграл подстановкой $t = -z$ сводится к

интегралу: $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin z dz$

Тогда $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx$, и на основании (3):

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \cos x dx = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2 \quad (4)$$

Теорема 1:

1) Пусть $y = f(x)$ непрерывна и строго возрастающая в $(-\infty; 0]$, и $\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = 0$. Тогда справедлива формула:

$$\int_{-\infty}^0 f(x) dx = - \int_{f(-\infty)}^{f(0)} f^{-1}(x) dx \quad (5)$$

2) Пусть $y = f(x)$ непрерывна и строго спадающая в $[0; +\infty)$, и $\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = 0$. Тогда справедлива формула:

$$\int_0^{+\infty} f(x) dx = - \int_{f(0)}^{f(+\infty)} f^{-1}(x) dx \quad (6)$$

Доказательство:

Ограничимся вторым случаем. Так как функция $y = f(x)$ непрерывна и строго спадающая в $[0; +\infty)$, то она необходимо имеет и обратную функцию $y = f^{-1}(x)$. Это дает возможность преобразовать несобственный интеграл первого рода в несобственный интеграл второго рода с особой точкой $f(+\infty)$.

Сходимость или расходимость несобственных интегралов при подобных преобразованиях не нарушается.

Отыскание обратной функции $y = f^{-1}(x)$ к функции $y = f(x)$ осуществляется по такому правилу: функцию $y = f(x)$ следует преобразовать явно в виде $x = g(y)$, после чего поменять в ней переменные x и y местами, т.е. представить в виде $y = g(x)$. Последняя функция и будет обратной к функции $y = f(x)$, и обозначается: $y = f^{-1}(x)$.

Пример 1: Пусть дана функция: $y = 3x + 6$. Найти функцию обратную к ней.

$$x = \frac{y-6}{3}, \text{ и меняя } x \text{ и } y \text{ местами: } y = \frac{x-6}{3}$$

В дальнейших примерах (кроме примера 5-го и 6-го) будет показано, как имея значения лишь двух интегралов:

$I = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx$ и $I_2 = \int_0^1 \frac{\arctg x}{x} dx$, возможно определить специальными методами, в особенности поворотом координат, значения многих других интегралов, которые так же не берутся элементарно.

Пример 2: Вычислить $I = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln(\tg x) dx$, если известно, что $\int_0^1 \frac{\arctg x}{x} dx = G$ ($G = 0,915965\dots$)

Решение:

$$\int_0^1 \frac{\arctg x}{x} dx = \int_{-\infty}^0 \arctg e^z dz \quad (\text{подстановка } x = e^z)$$

Применяя формулу (5):

$$I = \int_{-\infty}^0 \arctg e^z dz = -\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \tg z dz = \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \ctg z dz$$

Тогда:

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \ctg x dx = G \tag{7}$$

Как известно, $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2$

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt + 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt + 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln 2 dt \quad (\text{Подстановка } x = 2t)$$

$$-\frac{\pi}{2} \ln 2 = 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt + 2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt + \frac{\pi}{2} \ln 2$$

Исходя из последнего тождества и (7) выходит система из двух уравнений:

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt + \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt = -\frac{\pi}{2} \ln 2$$

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt - \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt = G$$

Прибавляя первое уравнение системы ко второму, находим:

$$2 \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt = G - \frac{\pi}{2} \ln 2,$$

и окончательно:

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \cos t dt = -\frac{\pi}{4} \ln 2 + \frac{G}{2} \tag{8}$$

Исходя из (7) и (8):

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt = -\frac{\pi}{4} \ln 2 - \frac{G}{2} \tag{9}$$

И, исходя из (8) и (9), легко вывести окончательный результат:

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln t g x dx = -G \quad (10)$$

В данном примере для отыскания решения интеграла (10) была применена в начале метода вычисления первая из формул теоремы 1, что сыграло немаловажную роль в отыскании значения данного интеграла.

Теорема 2:

Пусть $y = f(x)$ непрерывна и строго спадающая (или строго возрастающая) в $(0; b]$, $x = 0$ – особая точка, $(b > 0)$, $f(b) = 0$. Тогда справедлива формула:

$$\int_0^b f(x) dx = - \int_{f(0)}^{f(b)} f^{-1}(x) dx \quad (11)$$

Доказательство аналогичное доказательству теоремы 1. Только в этом случае несобственный интеграл второго рода преобразуется в несобственный интеграл первого рода.

Пример 3: Вычислить $I = \int_0^1 \frac{\arcsin x}{x} dx$ в конечном виде.

С одной стороны $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2$; с другой стороны, по формуле (11):

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = - \int_{-\infty}^0 \arcsin e^x dx$$

Применение формулы (11) оправдано, так как $\ln \sin \frac{\pi}{2} = 0$ и особая точка: $x = 0$

$$- \int_{-\infty}^0 \arcsin e^x dx = - \int_0^1 \frac{\arcsin z dz}{z} \quad (\text{подстановка: } x = \ln z).$$

$$\text{Тогда: } - \int_0^1 \frac{\arcsin z dz}{z} = -\frac{\pi}{2} \ln 2$$

И окончательный результат будет иметь вид:

$$\int_0^1 \frac{\arcsin x}{x} dx = \frac{\pi}{2} \ln 2$$

Теорема 3: Пусть $y = f(x)$ непрерывна и строго спадающая (или строго возрастающая) в промежутке $(0; b]$, $(0 < b)$, $x = 0$ – особая точка. Тогда имеет место формула:

$$\int_0^b f(x) dx = - \int_{f(0)}^{f(b)} f^{-1}(x) dx + \int_0^b f(b) dx \quad (12)$$

Доказательство: начальные рассуждения аналогичны с теоремой 2, но в этом случае, в точке b функция $y = f(x)$ не достигает значения 0. Поэтому, если рассмотреть данный вопрос с геометрической точки зрения, т.е. усмотреть значение интеграла как площади, ограниченной некоторой осью с одной стороны и некоторой непрерывной интегрируемой функцией с другой, – то очевидно, уравнение (11) не будет полным, так как к значению интеграла от обратной функции $y = f^{-1}(x)$ необходимо прибавить площадь оставшегося прямоугольника с вершинами: $(0; 0)$, $(b; 0)$, $(f(b); f(b))$, $(0; f(b))$.

Пример 4: Вычислить $I = \int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{\arcsin x}{x} dx$

Так как $\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin t dt = -\frac{\pi}{4} \ln 2 - \frac{G}{2}$, то принимая этот интеграл за начальную функцию, а искомый интеграл за обратную функцию, по формуле (12):

$$\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin x dx = - \int_{-\infty}^{\ln \frac{1}{\sqrt{2}}} \arcsin e^x dx + \int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \frac{1}{\sqrt{2}} dx$$

Подставляя в последнее тождество значение интеграла $\int_0^{\frac{\pi}{4}} \ln \sin x dx$ и преобразуя:

$$\int_{-\infty}^{\ln \frac{1}{\sqrt{2}}} \arcsin e^x dx = \frac{\pi}{4} \ln 2 + \frac{\pi}{4} \ln \frac{1}{\sqrt{2}} + \frac{G}{2} = \frac{\pi}{8} \ln 2 + \frac{G}{2},$$

далее подстановка: $x = \ln z$, которая приводит к окончательному результату:

$$\int_0^{\frac{1}{\sqrt{2}}} \frac{\arcsin z}{z} dz = \frac{\pi}{8} \ln 2 + \frac{G}{2} \tag{13}$$

Исходя из (13) можно получить разложение:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!} \cdot \frac{1}{(2n+1)^2} \cdot \frac{1}{(\sqrt{2})^{2n+1}} = \frac{\pi}{8} \ln 2 + \frac{G}{2}$$

Обобщенные формулы:

$$\int_a^b f(x) dx = - \int_{f(a)}^{f(b)} (f^{-1}(x) - a) dx + \int_a^b f(b) dx \quad (a < b), \quad a - \text{особая точка} \tag{14}$$

$$\int_a^b f(x) dx = - \int_{f(a)}^{f(b)} (f^{-1}(x) - b) dx + \int_a^b f(a) dx \quad (a < b), \quad b - \text{особая точка} \tag{15}$$

Обе формулы представляют собою преобразование несобственного интеграла второго рода в несобственный интеграл первого рода. Формула (14) выводится из формулы (12) параллельным перемещением оси Oy из начального положения в особую точку a . При этом все условия существования несобственного интеграла первого рода, полученного из несобственного интеграла второго рода – сохраняются. Формула (15) являет собою аналог (14) в случае особой точки b .

Пример 5: $\int_2^3 \frac{1}{\sqrt{x-2}} dx = 2$

При преобразовании этого интеграла по формуле (14) – выходит аналогичный результат:

$$I = - \int_{\infty}^1 \left(\left(\frac{1}{x^2} + 2 \right) - 2 \right) dx + \int_2^3 dx = 1 + 1 = 2$$

Пример 6: $\int_3^5 \frac{1}{\sqrt{x-5}} dx = -i \cdot 2\sqrt{2}$

Его вычисление по формуле (15) дает аналогичный результат:

$$\int_3^5 \frac{1}{\sqrt{x-5}} dx = - \int_{\frac{1}{i\sqrt{2}}}^{\infty} \left(\left(\frac{1}{x^2} + 5 \right) - 5 \right) dx + \int_3^5 \frac{dx}{i\sqrt{2}} = -i\sqrt{2} + \frac{\sqrt{2}}{i} = -i\sqrt{2} - \frac{i^2\sqrt{2}}{i} = -i \cdot 2\sqrt{2}$$

Пример 7: Вычислить $I = \int_0^1 \frac{\text{arccctg} \sqrt{x^{-1}-1}}{x} dx$

Если обратиться вновь к тождеству $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = -\frac{\pi}{2} \ln 2$ и провести ряд элементарных преобразований, то

выходит:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \sin x dx = -\frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \frac{1}{\sin^2 x} dx = -\frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln \frac{\sin^2 x + \cos^2 x}{\sin^2 x} dx = -\frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(1 + \operatorname{ctg}^2 x) dx$$

Отсюда следует: $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(1 + \operatorname{ctg}^2 x) dx = \pi \ln 2$

Согласно формуле (11), так как условия теоремы 2 в этом случае соблюдены:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \ln(1 + \operatorname{ctg}^2 x) dx = -\int_{\infty}^0 \operatorname{arcctg} \sqrt{e^x - 1} dx = \int_0^{\infty} \operatorname{arcctg} \sqrt{e^x - 1} dx$$

После подстановки: $x = \ln z$ интеграл будет иметь вид: $I = \int_1^{\infty} \frac{\operatorname{arcctg} \sqrt{z-1}}{z} dz$

Окончательная подстановка $z = \frac{1}{t}$ приводит к ответу:

$$I = -\int_1^0 \frac{t \cdot \operatorname{arcctg} \sqrt{\frac{1}{t} - 1}}{t^2} dt = \int_0^1 \frac{\operatorname{arcctg} \sqrt{t^{-1} - 1}}{t} dt$$

Таким образом, выходит результат:

$$\int_0^1 \frac{\operatorname{arcctg} \sqrt{t^{-1} - 1}}{t} dt = \pi \ln 2 \quad (16)$$

Литература:

1. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды, Изд-во: «Наука», 1981 г. — 797 с.
2. Бакельман И.Я. Высшая геометрия, Изд-во: «Просвещение», 1967 г. — 367 с.

Semi-Lagrangian Scheme for Solving Hyperbolic Equation of First Order

Синь Вэнь, студент

Университет Бейхан (Beihang University) (г. Пекин)

Вяткин Александр Викторович, кандидат физико-математических наук, научный сотрудник
Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (г. Красноярск)

Шайдуров Владимир Викторович, доктор физико-математических наук, профессор
Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН (г. Красноярск), Университет Бейхан

1. Introduction

We consider numerical solving the hyperbolic equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (u\rho)}{\partial x} = 0$$

equipped with suitable initial and boundary conditions for known velocity coefficient $u(t, x)$.

Among the successful numerical methods for solving this equation we mention such nonoscillatory conservative finite

difference shemes as TVD (total variation diminishing), TVB (total variation bounded), ENO (essentially nonoscillatory), and CABARET (Compact Accurate Boundary Adjusting high REsolution Technique) shemes (see [1]–[11] and the reference there). This approach uses the traditional difference approximation of temporal derivative and is liable to Courant — Friedrichs — Lewy (CFL) condition for ratio between steps in time and space.

The other approach focuses on the approximation of the whole operator of problem (1) as the partial derivative in some direction of the space (t, x) . This approach is developed under different names: methods of trajectories or modified characteristics and semi-Lagrangian one (see, for example, [12]–[19] and the reference there).

In order to highlight the essential ingredients of suggested approach we shall operate with one-dimensional problem again, keeping in mind that we shall extend this method in subsequent papers. In this paper, we will first show how to consider the possible boundary conditions in contrast to the periodic conditions of the previous paper [16]. Then we modify the presented algorithm for big and huge velocity and give a numerical example that demonstrates the stability independent of CFL condition.

2. The statement of problem and the main theorem

So, in the rectangle $(t, x) \in D = [0, T] \times [0, 1]$ consider equation

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(u\rho)}{\partial x} = 0, \quad (t, x) \in D. \tag{1}$$

Assume that coefficient $u(t, x)$ is given at D and is positive for simplicity sake.

Unknown function $\rho(t, x)$ satisfies the initial condition

$$\rho(0, x) = \rho_{\text{init}}(x), \quad x \in [0, 1], \tag{2}$$

and boundary condition

$$\rho(t, 0) = \rho_{\text{bound}}(t), \quad t \in [0, T]. \tag{3}$$

Assuming the continuity of ρ at D we get $\rho_{\text{init}}(0) = \rho_{\text{bound}}(0)$ at the coordinate origin. Moreover, for continuity of first partial derivatives in (1) the following equality must hold:

$$\left. \frac{d\rho_{\text{bound}}(t)}{dt} \right|_{t=0} = \left. \frac{d(u(0, x)\rho_{\text{init}}(x))}{dt} \right|_{x=0}.$$

By simple calculations we can obtain the necessary condition for the continuity of the second partial derivatives at the point $(0, 0)$, etc. We will not dwell on the question of the sufficiency of this conditions for the smoothness of the solution ρ , and at once we assume sufficient smoothness of the velocity $u(t, x)$, and solution $\rho(t, x)$ for further considerations.

Let us take two time lines $t_k, t_{k-1} \in [0, T]$ with $t_k - t_{k-1} = \tau > 0$ and two nodes $(t_k, x_1), (t_k, x_2)$ with points $x_1, x_2 \in [0, 1], x_1 < x_2$ (see Fig. 1).

For both these nodes we construct the characteristics $\tilde{x}_i(t), i = 1, 2$, of equation (1) at segment $t \in [t_{k-1}, t_k]$ [20, 21]. They satisfy the ordinary differential equation with different initial values:

$$\begin{cases} \frac{d\tilde{x}_i}{dt} = u(t, \tilde{x}_i), & t \in [t_{k-1}, t_k], \\ \tilde{x}_i(t_k) = x_i. \end{cases} \tag{4}$$

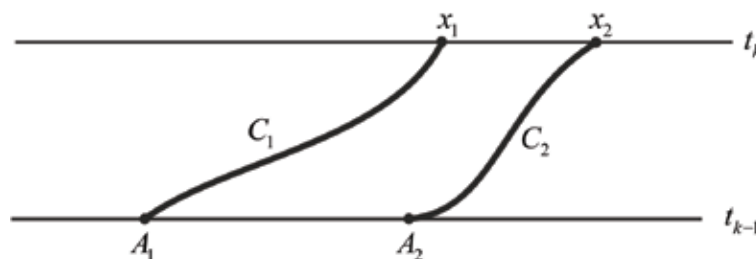


Fig. 1. Trajectories in standard (first) situation

These characteristics define two trajectories $C_i(t, \tilde{x}_i(t))$, $i=1,2$, in plane (t, x) when $t \in [t_{k-1}, t_k]$. The typical situation is considered in the previous paper [20] when each of these trajectories crosses line $t = t_{k-1}$ in some point (t_{k-1}, A_i) . We supposed that they are not mutually crossed and therefore $A_1 < A_2$. For this case the following result was proved in [16].

Theorem 1. For smooth solution of equation (1) in the standard (first) situation (Fig. 1) we have equality

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx = \int_{A_1}^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) dx. \tag{5}$$

But the boundary condition (3) may produce two other situations. First, for small x_1 the trajectory C_1 may be interrupted at line $x = 0$ at point B_1 because function $u(t, x)$ is unknown for $x < 0$. But trajectory C_2 continues up to line $t = t_{k-1}$ (see Fig. 2). And second, both trajectories C_1 and C_2 are interrupted at line $x = 0$ at points B_1 and B_2 (see Fig. 3). We enumerate these situations from one to three.

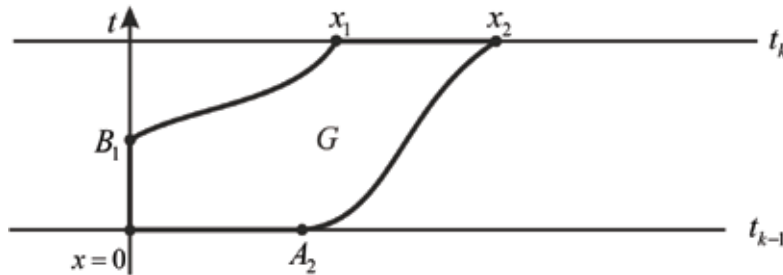


Fig. 2. Second situation: trajectory C_1 is interrupted and C_2 does not

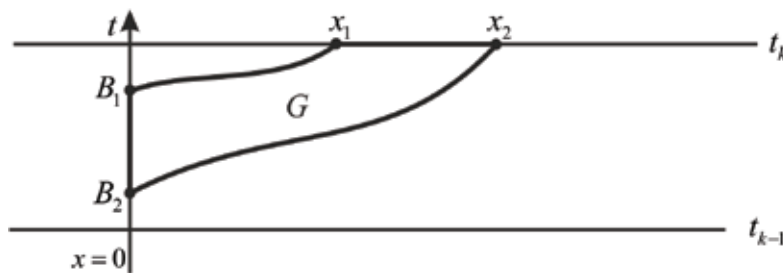


Fig. 3. Third situation: both trajectories C_1 and C_2 are interrupted

For last situations we prove two equalities.

Theorem 2. For smooth solution of equation (1) with boundary condition (3) in the second situation (Fig. 2) we get the equality

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx = \int_0^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) dx + \int_0^{B_1} \rho_{\text{bound}}(t)u(t, 0) dt. \tag{6}$$

Proof. Define by G the curvilinear pentagon bounded by lines $t = t_k$, C_1 , $x = 0$, $t = t_{k-1}$, C_1 . And define by $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4, \Gamma_5$ the corresponding parts of these lines, which form the boundary $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3 \cup \Gamma_4 \cup \Gamma_5$ (see Fig. 4). Introduce also the external normal \vec{n} defined at each part of boundary except 5 vertices of pentagon.

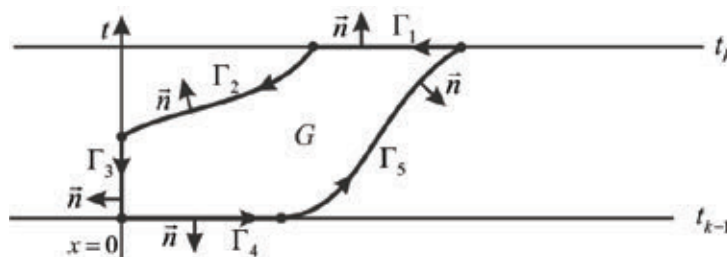


Fig. 4. Integration along the boundary in second case

Now use formula by Gauss-Ostrogradskii [20, 21] in the following form:

$$\int_G \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right) dG = \int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma \tag{7}$$

where sign \cdot means scalar product. Since the boundary Γ consists of five parts we calculate the integral over Γ separately on each line:

$$\int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \sum_{i=1}^5 \int_{\Gamma_i} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma. \tag{8}$$

Along the line Γ_1 the external normal equals $\vec{n} = (1, 0)$. Then

$$\int_{\Gamma_1} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = - \int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx. \tag{9}$$

At arbitrary point $(t, x) \in C_2$ the tangent vector is $\vec{v}(t, x) = (1, u(t, x))$. Therefore the external normal (that is orthogonal to it) equals

$$\vec{n} = \frac{1}{\sqrt{u^2 + 1}}(u, -1). \tag{10}$$

It implies equality

$$\int_{\Gamma_2} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \int_{\Gamma_2} (\rho, \rho u) \cdot (u, -1) \frac{d\Gamma}{\sqrt{u^2 + 1}} = 0. \tag{11}$$

Along the line Γ_3 the external normal equals $\vec{n} = (0, -1)$. Then

$$\int_{\Gamma_3} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = - \int_{B_1}^0 \rho(t, 0) u(t, 0) dt = \int_0^{B_1} \rho_{\text{bound}}(t) u(t, 0) dt. \tag{12}$$

For other two parts of the boundary we use the same way to calculate the integrals:

$$\int_{\Gamma_4} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \int_{\Gamma_4} (\rho, \rho u) \cdot (-1, 0) d\Gamma = \int_0^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) dx, \tag{13}$$

$$\int_{\Gamma_5} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = \int_{\Gamma_5} (\rho, \rho u) \cdot (u, -1) \frac{d\Gamma}{\sqrt{u^2 + 1}} = 0. \tag{14}$$

Combination of (7)–(9) and (11)–(14) implies (6):

$$0 = \int_G \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \right) dG = \int_{\Gamma} (\rho, \rho u) \cdot \vec{n} d\Gamma = - \int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx + \int_0^{A_2} \rho(t_{k-1}, x) dx + \int_0^{B_1} \rho_{\text{bound}}(t) u(t, 0) dt.$$

The next result is justified like previous theorem with some simplification. Therefore we give it without any proof.

Theorem 3. For smooth solution of equation (1) with boundary condition (3) in the third situation (Fig. 3) we get the equality

$$\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx = \int_{B_2}^{B_1} \rho_{\text{bound}}(t) u(t, 0) dt. \tag{15}$$

Note that this situation contains the case when $x_1 = 0$ and B_1 coincides with t_k .

So, consideration of the boundary conditions in the calculation expressions $\int_{x_1}^{x_2} \rho(t_k, x) dx$ resulted in an additional calculation of the integrals along t of known function $\rho_{\text{bound}}(t) u(t, 0)$. In this sense, consideration of boundary conditions makes minor modifications into the algorithms discussed below, so in further considerations we return to the periodic case.

3. Piece-wise linear discrete approximation

So, let the condition of periodicity holds for the problem (1)–(2), namely functions ρ_{init} and u are supposed periodical in x with period 1 and are smooth enough for further considerations.

Now we formulate some modification of numerical algorithm from [16] for solving problem (1) — (2). First, take integer $n > 2$ and construct uniform mesh in x with nodes $x_i = ih, i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, and meshsize $h = 1/n$. Then take integer

$m > 2$ and construct uniform mesh in t with nodes $t_k = k\tau$, $k = 0, 1, 2, \dots, m$, and meshsize $\tau = T/m$. Then make the following cycle for $k = 1, 2, \dots, m$, supposing that the approximate solution $\rho^h(t_{k-1}, x_i)$ is known yet at previous time-level for $i = 0, 1, \dots, n-1$.

1. With the help of values in these points and periodicity we construct the piecewise linear (periodical) interpolant

$$\rho^h(t_{k-1}, x) = \frac{1}{h}(x_{i+1} - x)\rho^h(t_{k-1}, x_i) + \frac{1}{h}(x - x_i)\rho^h(t_{k-1}, x_{i+1}) \quad \forall x \in (x_i, x_{i+1}) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1. \tag{16}$$

2. For each point $(t_k, x_{i+1/2})$, $i = 0, 1, \dots, n-1$, construct approximate trajectories $\tilde{C}_{i+1/2}^k$ down to time-level t_{k-1} , for example, by Runge-Kutta method. They produce cross-points $(t_{k-1}, \tilde{A}_{i+1/2}^{k-1})$. If $\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}$ goes outside segment $[0, 1]$ we use periodicity of our data. One can see that we get values $\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}$ which do not coincide with exact values $A_{i+1/2}^{k-1}$. Let us solve equations (4) with the following accuracy:

$$|\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1} - A_{i+1/2}^{k-1}| \leq \delta \tag{17}$$

where δ is small enough.

3. For each interval $(\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}, \tilde{A}_{i+1/2}^{k-1})$ compute integral

$$\tilde{I}_i = \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx \tag{18}$$

by trapezoid quadrature formula separately at each nonempty subinterval $(\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}, \tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}) \cap (x_s, x_{s+1})$ where $\rho^h(t_{k-1}, x)$ is linear.

4. Due to Theorem 1 it is supposed that

$$\tilde{I}_i \approx I_i \equiv \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho^h(t_k, x) dx. \tag{19}$$

Finally we put

$$\rho^h(t_k, x_i) = \tilde{I}_i/h \quad \forall i = 0, \dots, n-1. \tag{20}$$

Thus, we complete our cycle which may be repeated up to last time-level $t_m = T$.

Condensed form of this algorithm in terms of piecewise linear periodical interpolants is written as follows:

$$\rho^h(t_k, x_i) = \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho^h(t_{k-1}, x) dx/h \quad \forall i = 0, \dots, n-1, \quad \forall k = 1, 2, \dots, m. \tag{21}$$

So, we get approximate discrete solution $\rho^h(t_k, x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ at each time-level $t_k \quad \forall k = 1, \dots, m$. First we prove the conservation law in discrete form.

Let a discrete function $\rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ is given, and we construct piecewise linear interpolant $\rho_{\text{init}}^h(x) \quad \forall x \in [0, 1]$ with period 1.

Theorem 4. For any initial condition $\rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$ the approximate solution (16) — (20) $\rho^h(t_k, x) \quad \forall k = 1, 2, \dots, m$ satisfies the equality:

$$\int_0^1 \rho^h(t_k, x) dx = \int_0^1 \rho_{\text{init}}^h(x) dx. \tag{22}$$

Proof. The justification directly coincides with the proof of Theorem 2 in [16] with substitution $\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}$ instead of $A_{i+1/2}^{k-1}$.

It is interesting that this discrete conservation law is *exactly* valid for *an approximate* values $\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}$.

Now we prove a stability of algorithm (17)–(20) in the discrete norm analogous to that of space $L_1([0, 1])$:

$$\|\rho\|_1^h = \sum_{0 \leq i \leq n-1} |\rho(x_i)|h. \tag{23}$$

Theorem 5. For any intermediate discrete function $\xi^h(t_{k-1}, x_i) \quad \forall k = 1, 2, \dots, m$ the solution $\xi^h(t_k, x_i)$ of (17)–(20) satisfies the inequality:

$$\left\| \xi^h(t_k, \cdot) \right\|_1^h \leq \left\| \xi^h(t_{k-1}, \cdot) \right\|_1^h. \tag{24}$$

Proof. Again the justification directly coincides with the proof of Theorem 3 in [16] with substitution $\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}$ instead of $A_{i+1/2}^{k-1}$.

Now evaluate an error of approximate solution in introduced discrete norm.

Theorem 4. For sufficiently smooth solution of problem (1) — (2) we have the following estimate for the constructed approximate solution:

$$\left\| \rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot) \right\|_1^h \leq ck(h^2 + \delta/h) \quad \forall k = 0, 1, \dots, m \tag{25}$$

with a constant c independent of k , δ , and h .

Proof. We prove this inequality by induction in k . For $k = 0$ this inequality is valid because of exact initial condition (2): $\rho^h(0, x_i) = \rho(0, x_i) = \rho_{\text{init}}(x_i) \quad \forall i = 0, 1, \dots, n-1$. Suppose that estimate (25) is valid for some $k-1 \geq 0$ and prove it for k .

So, at time-level t_{k-1} we have decomposition

$$\rho^h(t_{k-1}, x_i) = \rho(t_{k-1}, x_i) + \xi_{k-1}^h(x_i) \tag{26}$$

with a discrete function $\xi_{k-1}^h(x_i)$ that satisfies the estimate

$$\left\| \xi_{k-1}^h \right\|_1^h \leq c(k-1)(h^2 + \delta/h). \tag{27}$$

Because of Taylor series in x of $\rho(t_k, x)$ in the vicinity of point x_i we get equality

$$\rho(t_k, x_i) = \int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho(t_k, x) dx/h + \varepsilon_i^k \quad \text{where } |\varepsilon_i^k| \leq c_1 h^2 \quad \text{with } c_1 = \frac{1}{24} \max_{x \in [0,1]} \left| \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}(t_k, x) \right|. \tag{28}$$

Because of Theorem 1

$$\int_{x_{i-1/2}}^{x_{i+1/2}} \rho(t_k, x) dx/h = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho(t_{k-1}, x) dx/h.$$

Instead of $\rho(t_{k-1}, x)$ let use its piecewise linear periodical interpolant $\rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x)$. Then

$$\int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho(t_{k-1}, x) dx/h = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \eta_i^k \tag{29}$$

where $|\eta_i^k| \leq c_2 h(A_{i+1/2}^{k-1} - A_{i-1/2}^{k-1})$ with $c_2 = \frac{1}{8} \max_{x \in [0,1]} \left| \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}(t_k, x) \right|$.

Thus, we get equality

$$\rho(t_k, x_i) = \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \eta_i^k + \varepsilon_i^k. \tag{30}$$

For $\rho^h(t_k, x_i)$ we use (21) and (26):

$$\rho^h(t_k, x_i) = \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx/h + \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \xi_{k-1}^h(x) dx/h \tag{31}$$

where values of $\xi_{k-1}^h(x)$ are constructed by piecewise linear periodical interpolation.

Now let us evaluate the difference caused by error (17):

$$\left| \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx - \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx \right| \leq \left| \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx \right| + \left| \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx \right|.$$

From the properties of piecewise linear interpolant it follows that

$$\max_{x \in [0,1]} |\rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x)| \leq \max_{x \in [0,1]} |\rho(t_{k-1}, x)|.$$

Therefore

$$\left| \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx - \int_{\tilde{A}_{i-1/2}^{k-1}}^{\tilde{A}_{i+1/2}^{k-1}} \rho_{\text{int}}(t_{k-1}, x) dx \right| \leq 2\delta \max_D |\rho|. \tag{32}$$

Now let subtract (31) from (30), multiply its modulus by h , use (32), and sum for all $i = 0, 1, \dots, n-1$:

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq \sum_{0 \leq i \leq n-1} \left(|\eta_i^k| h + |\varepsilon_i^k| h + 2\delta \max_D |\rho| + \int_{A_{i-1/2}^{k-1}}^{A_{i+1/2}^{k-1}} |\xi_{k-1}^h(x)| dx \right). \tag{33}$$

Due to Theorem 3 last term in brackets is combined into $\|\xi_{k-1}^h\|_1^h$. Thus

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq (c_1 + c_2)h^2 + 2\delta \max_D |\rho|/h + \|\xi_{k-1}^h\|_1^h. \tag{34}$$

Let put $c = c_1 + c_2 + 2 \max_D |\rho|$ then this inequality is transformed with the help (27):

$$\|\rho(t_k, \cdot) - \rho^h(t_k, \cdot)\|_1^h \leq ck(h^2 + \delta/h)$$

that is equivalent to (27).

We can see that at last time level we get inequality

$$\|\rho(t_m, \cdot) - \rho^h(t_m, \cdot)\|_1^h \leq cT(h^2 + \delta/h)/\tau. \tag{35}$$

In some sense we got a restriction on temporal meshsize τ to get convergence. For example, to get first order of convergence, it is enough to take

$$\tau = ch$$

with any constant c independent of τ and h . But this restriction is not such strong for constant c as CFL condition:

$$\max_{[0,1]} |u| \tau \leq h. \tag{37}$$

Moreover, it is opposite in meaning: here the greater τ the better accuracy.

Thus, this approach is convenient for the problems with huge velocity $u(t, x)$ which come from a computational aerodynamics: we have computational stability on the base of Theorem 4 and conservation law on the base of Theorem 3.

Now discuss the choice of δ in (17). From (35) the better choice is $\delta/h \leq h^2$, i.e., $\delta \leq h^3$. For this purpose the standard Runge-Kutta method is acceptable that gives $\delta = O(h^4)$ with appropriate accuracy and stability conditions [22, 23].

4. Numerical experiment

Let take $u(t, x) = \frac{1000t(8 + \sin(2\pi x - 1000t^2))}{\pi(2 + \sin(2\pi x - 1000t^2))}$, $T = 0.5$ and solve the equation (1) with initial condition

$$\rho_{\text{init}}(x) = 2.0 + \sin(2\pi x), \quad x \in [0, 1),$$

subject to periodicity. Then exact solution is

$$\rho(t, x) = 2 + \sin(2\pi x - 1000t^2), \quad x \in [0, 1).$$

The result of implementing the presented algorithm is given in Table 1. Here in this experiment we set $\tau/h = 1.0$ (as the most implemented ratio in computations). The first line shows a number n of mesh nodes and the middle line contains the values $\|\rho(t_m, x) - \rho^h(t_m, x)\|_1^h$ at last time level $t_m = 0.5$. The last line demonstrates the order of accuracy.

Table 1

| n | 40 | 80 | 160 | 320 | 640 | 1280 |
|-------------------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Error | 0.01228 | 0.00712 | 0.00194 | 0.00064 | 0.00026 | 0.00013 |
| Order of accuracy | | 1.341834 | 1.876304 | 1.192391 | 1.971816 | 1.017456 |

Thus we indeed have at least the first order of accuracy on h when τ/h is fixed.

5. Conclusion

Thus, we continue presentation of the numerical approach [16] which is more convenient for huge velocity $u(t, x)$. Here we show the treatment with boundary condition instead of periodical one, and then we examine theoretically and by numerical example the effect of the approximate solving the characteristics equations instead of exact process.

Again we have to note that the accuracy is the higher the less time steps done in the algorithm. But for the equations with nonzero right-hand side a small time step τ will be crucial for appropriate approximation.

References:

1. Harten A., Osher S.: Uniformly high-order accurate non-oscillatory schemes, I // *SIAM J. Numer. Anal.* — 1987. — V. 24. — P. 279–309.
2. Harten A., Engquist B., Osher S., Chakravarthy S.: Uniformly high-order accurate non-oscillatory schemes, III // *J. Comput. Phys.* — 1987. — V. 71. — P. 231–303.
3. Osher S., Tadmor E.: On the convergence of different approximations to scalar conservation laws // *Math. Comput.* — 1988. — V. 50. — P. 19–51.
4. Sanders R.: A third-order accurate variation nonexpansive difference scheme for single nonlinear conservation laws // *Math. Comput.* — 1988. — V. 51. — P. 535–558.
5. Чирков Д. В., Черный С. Г.: Сравнение точности и сходимости некоторых TVD-схем // *Вычислительные технологии.* — 2000. — Т. 5, № 5. — С. 86–107.
6. Cockburn B., Shu C.-W.: TVB Runge-Kutta projection discontinuous Galerkin finite element method for conservation laws II: general framework // *Math. Comput.* — 1988. — V. 52. — P. 411–435.
7. Shu C.-W.: TVB boundary treatment for numerical solution of conservation laws // *Math. Comput.* — 1987. — V. 49. — P. 123–134.
8. Shu C.-W.: Total-Variation-Diminishing time discretizations // *SIAM J. Sci. Statist. Comput.* — 1988. — V. 9. — P. 1073–1084.
9. Shu C.-W., Osher S.: Efficient implementation of essentially non-oscillatory shock-capturing schemes // *J. Comput. Phys.* — 1988. — V. 77. — P. 439–471.
10. Sweby P.: High-resolution schemes using flux limiters for hyperbolic conservation laws // *SIAM J. Numer. Anal.* — 1984. — V. 21. — P. 995–1011.
11. Головизнин В. М., Зайцев М. А., Карабасов С. А., Короткин И. А. Новые алгоритмы вычислительной гидродинамики для многопроцессорных вычислительных комплексов. — Москва: МГУ. — 2013.
12. Priestley A. A quasi-conservative version of the semi-Lagrangian advection scheme // *Mon. Weather Rev.* — 1993. — V. 121. — P. 621–629.
13. Scroggs J. S., Semazzi F. H. M. A conservative semi-Lagrangian method for multidimensional fluid dynamics applications // *Numer. Meth. Part. Diff. Eq.* — 1995. — V. 11. — P. 445–452.
14. Phillips T. N., Williams A. J. Conservative semi-Lagrangian finite volume schemes // *Numer. Meth. Part. Diff. Eq.* — 2001. — V. 17. — P. 403–425.
15. Iske A. Conservative semi-Lagrangian advection on adaptive unstructured meshes // *Numer. Meth. Part. Diff. Eq.* — 2004. — V. 20. — P. 388–411.
16. Синь Вэнь, Вяткин А. В., Шайдуров В. В. Characteristics-like approach for solving hyperbolic equation of first order // *Молодой ученый.* — 2013. — № 3 (50). — С. 5–12.
17. Chen H., Lin Q., Shaidurov V. V., Zhou J. Error estimates for triangular and tetrahedral finite elements in combination with trajectory approximation of first derivatives for advection-diffusion equations // *Numerical Analysis and Applications.* — 2011. — Vol. 4, № 4. — P. 345–362.
18. Чен Х., Лин К., Шайдуров В. В., Жоу Ю. Оценки ошибки для треугольных и тетраэдральных конечных элементов в комбинации с траекторной аппроксимацией первых производных для уравнений адвекции-диффузии // *Сиб. журн. вычисл. матем.* — 2011. — Т. 14, № 4. — С. 425–442.
19. Shaidurov V. V., Shchepanovskaya G. I., Yakubovich V. M. Numerical simulation of supersonic flows in a channel // *Russ. Journ. of Numer. Anal. and Math. Modelling.* — 2012. — Vol. 27, № 6. — P. 585–601.
20. Streeter V. L., Wylie E. B.: *Fluid mechanics.* — London: McGraw-Hill. — 1998.
21. Polyanin A. D.: *Handbook of linear partial differential equations for engineers and scientists.* — Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press. — 2002.
22. Новиков Е. А.: *Явные методы для жестких систем.* — Новосибирск: Наука. — 1997.
23. Hairer E., Wanner G., Nørsett S. P.: *Solving Ordinary Differential Equations 1: Nonstiff Problems.* — Berlin: Springer. — 1993.

ХИМИЯ

Реологические свойства поликомпонентной гипсосодержащей суспензии

Румянцева Елена Леонидовна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Установлено, что поликомпонентная гипсосодержащая суспензия с влажностью 80 % обладает слабыми структурными связями, характеризуется неполным тиксотропным восстановлением структуры после снятия напряжения сдвига и является тиксолабильной.

Ключевые слова: высокоосновный шлак, реология, тиксотропия, тиксолабильность, коагуляционные контакты.

Важнейшим условием получения материалов с заданными физико-механическими свойствами является управление процессом структурообразования дисперсных систем на всех стадиях технологического процесса и, особенно в начальном периоде.

Наибольший интерес в этом плане представляют суспензии — дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются частицы твердого вещества размером более 10^{-5} см, а дисперсионной средой — жидкость. Объектом нашего изучения является поликомпонентная гипсосодержащая суспензия, полученная в результате химической переработки высокоосновного шлака Челябинского электрометаллургического комбината.

Целью настоящей работы является исследование реологических характеристик гипсосодержащей суспензии, позволяющих оценить свойства структуры, возникающей на ранней стадии.

Самораспадающийся феррохромовой шлак (марка СФШ, ТУ 14–11–325–97) был предоставлен нам Челябинским металлургическим комбинатом. Химический и минералогический состав указанного шлака позволяет считать его подходящим сырьем для получения поликомпонентной гипсосодержащей суспензии (ПГСС) [1, 2].

Для получения суспензии шлак смешивался с водой в соотношении 1:10. Суспензия интенсивно перемешивалась в течение 3–5 минут. Плотность суспензии составила $1,05 \text{ г/см}^3$. При интенсивном перемешивании в суспензию добавлялась концентрированная серная кислота ($\omega = 98 \%$, $\rho = 1,834 \text{ г/см}^3$, по ГОСТ 4204–77) в стехиометрическом соотношении, рассчитанном на полное

выщелачивание минералов шлака. Готовность суспензии к проведению реологических исследований достигалась после непрерывного перемешивания в течение 30 минут и достижения нейтральной реакции среды.

При обработке суспензии шлака серной кислотой дисперсную фазу образуют ультрадисперсные кристаллы дигидрата сульфата кальция и частицы кремниевой кислоты. В дисперсионную среду переходят сульфаты алюминия, магния, хрома, железа. Содержание дигидрата сульфата кальция в дисперсной фазе суспензии составило 79 масс. %, кремниевой кислоты — 21 масс. %.

Характер реологических кривых определяется характером зависимости эффективной вязкости от градиента скорости сдвига: $\eta = f(\dot{\gamma})$. Из анализа зависимости следует, что поликомпонентная гипсосодержащая суспензия характеризуется тиксотропным характером течения: вязкость монотонно убывает по мере увеличения градиента скорости сдвига (рис. 1). После снятия напряжения наблюдается некоторое восстановление вязкости, несомпадение хода кривых при движении «сверху вниз» (при $> \dot{\gamma}$) и «снизу вверх» (при $< \dot{\gamma}$) от максимального до минимального значения свидетельствует о том, что тиксотропного «залечивания» не происходит даже при длительном деформировании системы с изменением $\dot{\gamma} \rightarrow \dot{\gamma}_{\min}$. Итак, для поликомпонентной гипсосодержащей суспензии характерно неполное тиксотропное восстановление структуры после снятия напряжения сдвига, следовательно, дисперсную систему можно охарактеризовать как **тиксолабильную**. С течением времени (в пределах 30 минут) не наблюдается заметного структурирования системы —

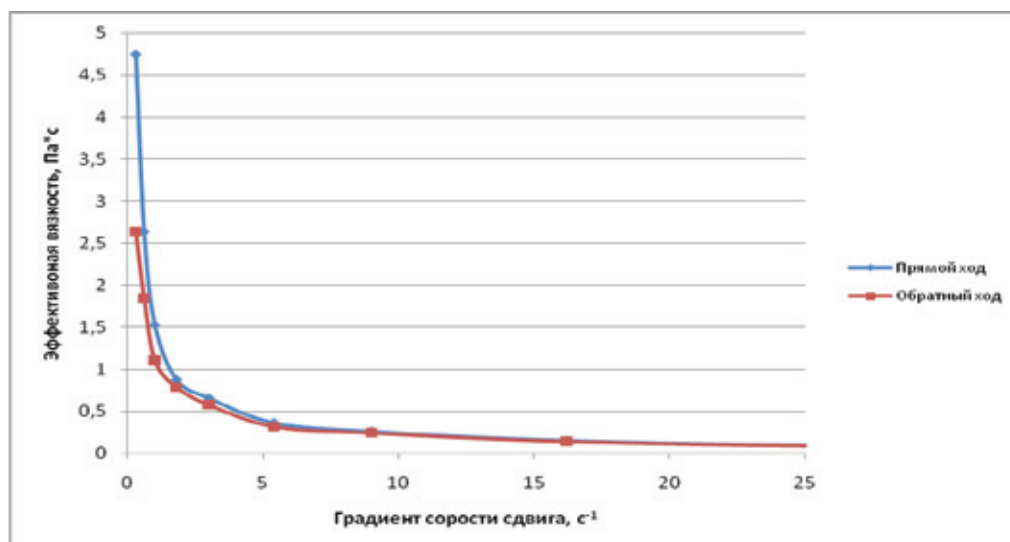


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости свежеприготовленной суспензии от градиента скорости при прямом и обратном ходе

эффективная вязкость суспензии не превышает 4 Па · с.

Таким образом, реологические свойства ПГСС могут быть охарактеризованы двумя величинами вязкости: ньютоновской η_{∞} (или η_{\min}) для предельно разрушенной структуры и пластической η в промежуточной области. Особенностью анализируемых реологических кривых является отсутствие линейного участка кривой течения при малых напряжениях сдвига, что отвечает такому состоянию, когда структурные элементы при течении разрушаются, но время их восстановления больше времени разрушения. Рассмотренные реологические свойства типичны для систем с коагуляционной структурой.

Проявление структуры, её прочность, можно оценить величиной предела текучести, а также разностью η_{\max} —

η_{\min} особенно в жидкообразных системах. Чем больше эта разность, тем прочнее структура. У свежеприготовленной суспензии значения предела текучести и напряжения, необходимого для полного разрушения структуры, совпадают и составляют 2,53 Па. Вязкости η_{\max} и η_{\min} отличаются незначительно, в пределах 4,5 Па · с. Отмеченные факты свидетельствуют о наличии слабых коагуляционных контактов.

Из анализа зависимости градиента скорости сдвига от напряжения сдвига (рис. 2) следует, что полученную суспензию можно считать жидкообразной структурированной системой со слаборазвитой пространственной структурной сеткой. По-видимому, в этом случае толщина прослоек дисперсионной среды является чрезмерной

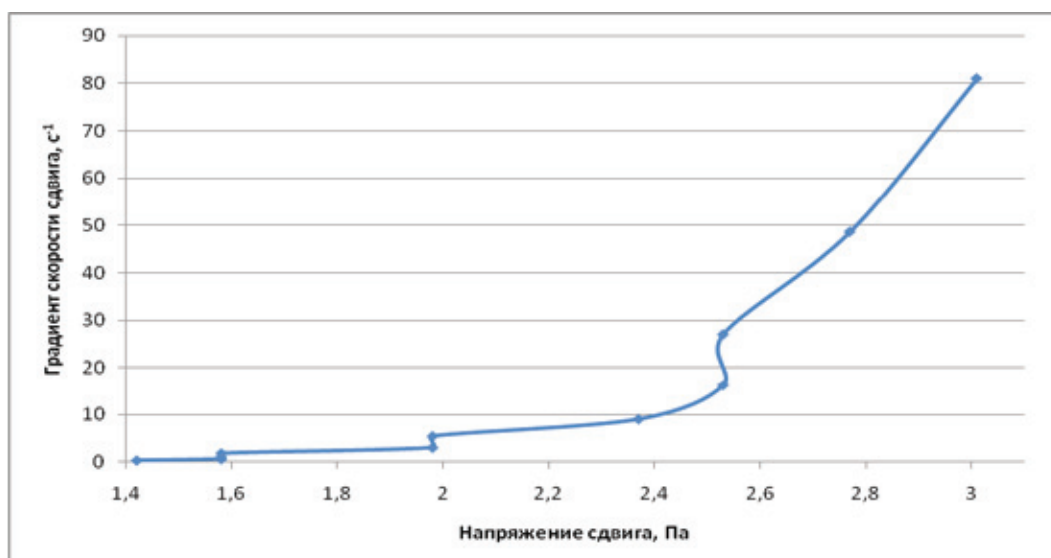


Рис. 2. Зависимость градиента скорости сдвига свежеприготовленной суспензии от напряжения сдвига

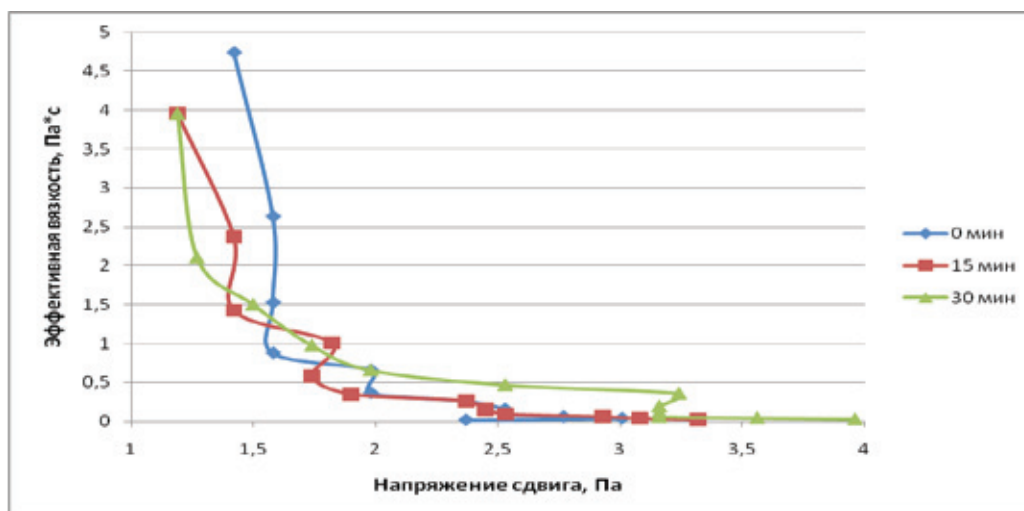


Рис. 3. Зависимость вязкости суспензии от напряжения сдвига во времени

и оказывает экранирующее воздействие на формирование коагуляционных контактов и непосредственное сцепление между твердыми частицами.

С течением времени наблюдаются структурные изменения в анализируемой системе. Так, на реологической кривой течения гипсосодержащей суспензии $\gamma = f(\tau)$ через 15 минут фиксируется область возврата по оси напряжений при низких значениях градиента скорости сдвига (1,8–5,4), при этом вязкость изменялась от 1,011 до 0,352 Па·с. Неравномерное распределение частиц в объеме системы приводит к возникновению локальных областей с различным числом коагуляционных контактов и формированию микронеоднородной структуры с двумя пределами текучести при $P_{\tau} = 2,3$ и 2,75 Па.

Кривые течения жидкообразных структурированных систем могут быть представлены в координатах «вязкость — напряжение сдвига». Для реологической кривой $\eta = f(\tau)$ (рис. 3) свежеприготовленной суспензии характерен флуктуационный характер процесса разрушения и последующего восстановления коагуляционных контактов, что также свидетельствует о наличии микронеоднородностей в анализируемой системе.

Степень разрушения структуры (α), вычисленная по формуле, предложенной П. А. Ребиндером, позволила установить, что в первой зоне разрушения структура разрушилась на 67 % при повышении градиента скорости до

$\gamma = 1,8 \text{ С}^{-1}$, во второй — на 25,6 % при достижении градиента скорости сдвига $5,4 \text{ С}^{-1}$ и в третьей — на 7,4 % при достижении градиента скорости сдвига $145,8 \text{ С}^{-1}$ (рис. 2.7). Таким образом, практически мгновенно, при изменении γ от 0,3 до 0,6 С^{-1} , число разрушенных связей уменьшается на 45 %.

Однако с течением времени обнаруживается слабо выраженная, но явно обнаруживаемая аномалия в характере изменения вязкости, характерная для кривых II типа. Появление плато с практически постоянной или незначительно снижающейся вязкостью, равно как и области, характеризующейся «обратным» ходом напряжения сдвига, может свидетельствовать о наличии локальной зоны разрушения. Аномальный характер кривых течения анализируемой низкоконцентрированной суспензии может быть связан с наличием нескольких зон, представляющих собой дисперсионную среду, содержащую отдельные частицы и агрегаты частиц. Эти зоны чередуются со структурированными слоями. Помимо этого необходимо учитывать поликомпонентный состав полученной суспензии.

Из вышеизложенного можно заключить, что полученная низкоконцентрированная суспензия обладает достаточно стабильными реологическими свойствами и может быть использована в качестве наноинициатора схватывания и твердения при приготовлении цементных растворов [3].

Литература:

1. Румянцева Е. Л., Белецкая В. А. Шлак ОЭМК — сырье для химической переработки // Экология и промышленность России. — 2010. — № 1. — С. 15–17.
2. Румянцева Е. Л., Белецкая В. А., Корниенко И. Д. Исследование коллоидно-химических закономерностей выщелачивания высокоосновного сталеплавильного шлака // Известия ТулГУ. Естественные науки. — 2010. — Вып. 1. — С. 197–204.
3. Белецкая В. А., Румянцева Е. Л. Перспективы использования электросталеплавильных шлаков ОЭМК // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. — № 3. — 2011. — с. 140–144.

ИНФОРМАТИКА

Эволюция способов и алгоритмов сортировки данных в массивах

Дупленко Александр Геннадьевич, программист
НОУ «Учебный центр Олега Видякина», МАОУ Гимназия № 1 (г. Калининград)

Статья посвящена вопросам эволюции способов и алгоритмов сортировки данных в массивах. Рассмотрены основные этапы и направления их развития начиная с первых методов, используемых при машинной обработке информации, и до настоящего времени. Выявлены тенденции развития алгоритмов сортировки данных в массивах.

Ключевые слова: алгоритм сортировки, методы сортировки, сортировка данных в массивах.

Сортировка данных в массиве является одной из наиболее распространенных задач в информатике. Но повышение эффективности алгоритмов сортировки очень важно не только по этой причине. Неослабевающий интерес к их оптимизации объясняется тем, что объемы информационных массивов непрерывно и стремительно растут, соответственно возрастают и требования к скорости сортировки.

Нами была поставлена цель проследить эволюцию алгоритмов сортировки данных с первых методов, используемых при машинной обработке информации, да настоящего времени, выделив основные этапы и направления их развития.

Начать хотелось бы с того, что важное практическое значение проблема сортировки данных в больших массивах впервые приобрела в США в середине XIX века. В 1840 году там был создан центральный офис переписи населения, куда стекались первичные данные из всех штатов. В ходе переписи было опрошено 17 069 453 человек, каждая анкета состояла из 13 вопросов. Объем полученных данных был столь велик, что их обработка традиционным ручным способом потребовала непомерных затрат труда и времени. Ситуация усугублялась необходимостью проведения постоянных сверок и пересчетов из-за допускаемых при ручной сортировке данных ошибок. С каждой новой переписью, которая проводилась раз в десять лет, объем обрабатываемой информации, а вместе с ним стоимость и длительность обработки данных возрастали. Так, ручная обработка данных переписи населения 1880 года (50 189 209 человек) потребовала привлечения сотен служащих и длилась семь с половиной лет [1].

Перед переписью 1890 года для решения проблемы сортировки данных в очень больших массивах информации по инициативе бюро переписи был проведен конкурс на

лучшее электромеханическое сортировочное оборудование, которое сделало бы сортировку данных более эффективной — более быстрой, точной и дешевой. Конкурс выиграл американский инженер и изобретатель немецкого происхождения Герман Холлерит (Herman Hollerith), разработавший оборудование для работы с перфокартами — электрическую табулирующую систему, ставшую известной как Hollerith Electric Tabulating System. Использование этого оборудования при переписях населения США в 1890 и 1900 годах было признано очень успешным.

Вот как были описаны преимущества машины Холлерита в русском журнале «Вестник Опытной Физики и Элементарной Математики» в 1895 году: «Преимущества машины Голлерита заключаются:

а) в значительном ускорении и удешевлении работы. При ручном способе можно разложить и подсчитать за час не более 400 карточек. Если принять, что в Российской Империи 120 миллионов жителей, то для изготовления одной только сводной таблицы потребуется не менее ... 300 000 часов... Машина сокращает работу почти в 5 раз.

б) в большей точности результатов...

в) в большей легкости получения сложных сводных таблиц... После немногих пропусков через машину всех счетных карточек получаются столь полные и разнообразные таблицы, составление которых было почти невозможно при прежнем способе». [2, с. 200—201].

Использование способа табулирования при сортировке данных оказалось настолько эффективным, что предварительные подсчеты результатов переписи потребовали всего шесть недель, а полный статистический анализ данных занял два с половиной года. Таким образом, обработка данных с помощью машины Холлерита потребовала в три раза меньше времени, чем вручную, причем точность сводных таблиц значительно возросла.

Таким образом, в конце XIX века на смену ручной сортировке данных в массивах пришла сортировка с помощью статистических табуляторов. При этом использовался алгоритм поразрядной сортировки.

Следующий этап развития способов и алгоритмов сортировки начался в начале 1940-х годов с появлением первых электронных вычислительных машин. Фантастическое по тем временам быстродействие ЭВМ вызвало рост интереса к новым, приспособленным для машинной обработки алгоритмам сортировки. В 1946 году вышла первая статья об алгоритмах сортировки данных, автором которой был Джон Уильям Мочли (John William Mauchly) — американский физик и инженер, один из создателей первого в мире электронного цифрового компьютера общего назначения ENIAC. В статье рассматривался целый ряд новых алгоритмов сортировки, в том числе метод бинарных вставок. До середины 1950-х годов наиболее распространенными были модификации сортировки слиянием и вставками сложности $O(n \log n)$ для n элементов. Еще одним следствием перехода к сортировке данных с помощью ЭВМ стало разделение сортировки на два типа — внешнюю и внутреннюю, то есть на использующую и не использующую данные, расположенные на периферийных устройствах.

В середине 1950-х годов с разработкой ЭВМ второго поколения началось активное развитие алгоритмов сортировки. Основными предпосылками для этого стали, во-первых, значительное упрощение и ускорение написания программ для компьютеров в результате разработки первых языков программирования высокого уровня (Фортран, Алгол, Кобол); во-вторых, значительное повышение доступности компьютеров в результате резкого уменьшения их габаритов и стоимости и, как следствие, достаточно широкое их распространение; в-третьих, увеличение производительности компьютеров до 30 тысяч операций в секунду.

В 1959 году Дональд Левис Шелл (Donald Lewis Shell) предложил метод сортировки с убывающим шагом (shellsort), в 1960 году Чарльз Энтони Ричард Хоар (Charles Antony Richard Hoare) — метод быстрой сортировки (quicksort), в 1964 году Дж. У. Дж. Уильямс (J. V. J. Williams) — метод пирамидальной сортировки (heapsort). Многие из разработанных в этот период алгоритмов (например, быстрая сортировка Хоара) широко используются до настоящего времени [3, с. 52]. Итоги этого этапа активного развития алгоритмов сортировки подвел в 1973 году Дональд Эрвин Кнут (Donald Ervin Knuth) в третьем томе своей фундаментальной монографии «Искусство программирования» («The Art of Computer Programming»).

К началу 1970-х годов использовались следующие виды алгоритмов внутренней сортировки: сортировка посредством подсчета; сортировка путем вставок; обменная сортировка; сортировка посредством выбора; сортировка методом слияния; сортировка методом распределения.

Наибольшее количество разработанных к тому времени методов относилось к сортировке путем вставок

(метод простых вставок, бинарные и двухпутевые вставки, метод Шелла, вставка в список, сортировка с вычислением адреса и др.), обменной сортировке (метод пузырька и его модификации, параллельная сортировка Бэтчера, быстрая сортировка, обменная поразрядная сортировка, асимптотические методы) и сортировке посредством выбора (выбор из дерева, пирамидальная сортировка, метод исключения наибольшего из включенных, метод связанного представления приоритетных очередей).

Не менее активно разрабатывались и методы внешней сортировки, в том числе методы многопутевого слияния и выбора с замещением, многофазного слияния, каскадного слияния, осциллирующей сортировки, внешней поразрядной сортировки и т. д. [4, с. 409].

Очередной всплеск интереса к алгоритмам сортировки произошел в середине 1970-х годов, когда элементной базой компьютеров стали большие интегральные схемы и появилась возможность объединения мощности вычислительных машин путем создания единых вычислительных центров, позволяющих работать с разделением времени.

В период с середины 1970-х до 1990-х годов были достигнуты значительные успехи в увеличении скорости сортировки за счет повышения эффективности уже известных к тому времени алгоритмов путем их доработки или комбинирования. К примеру, нидерландский учёный Эдсгер Вибе Дейкстра (Edsger Wybe Dijkstra) в 1981 году предложил алгоритм плавной сортировки (Smoothsort), который является развитием пирамидальной сортировки (Heapsort). Вторым направлением совершенствования алгоритмов сортировки стал поиск оптимальных входных последовательностей для разных методов сортировки, что позволяло значительно сократить ее время. Третьим направлением, наиболее интенсивно развивающимся, было решение задачи сортировки в классе параллельных алгоритмов, для чего не только обобщались ранее известные парадигмы, но и разрабатывались принципиально новые алгоритмы. Развитие данного направления стимулировалось и все более широким использованием сортирующих сетей, а также многомерных вычислительных решеток.

Для нынешнего этапа развития способов и методов сортировки характерно исследование задач сортировки на частично упорядоченных множествах: задач распознавания частично упорядоченного множества M ; задач сортировки частично упорядоченного множества M с использованием результатов попарных сравнений элементов, а также задач определения порядка на множестве M без априорной информации. Актуальность данных задач обусловлена появлением и распространением компьютеров на сверхсложных микропроцессорах с параллельно-векторной структурой, высокоэффективных сетевых компьютерных систем.

Таким образом, исследовав эволюцию способов и алгоритмов машинной сортировки данных в массивах, можно выделить следующие пять этапов.

Первый этап начался в 1870 году и длился до начала 1940-х годов. Его ознаменовал переход от ручной сортировки к сортировке с помощью статистических табуляторов. При этом использовался алгоритм поразрядной сортировки.

Второй этап — с начала 1940-х годов до середины 1950-х. На смену счетно-перфорационным машинам пришли ЭВМ первого поколения, для которых был разработан ряд новых алгоритмов сортировки. Произошло их разделение на внутренние и внешние. Наиболее распространенными в этот период были модификации сортировки слиянием и вставками сложности $O(n \log n)$.

Третий этап начался в середине 1950-х годов и продолжался до середины 1970-х. Для него было характерно активное развитие алгоритмов сортировки — внешней и внутренней, устойчивой и неустойчивой — многие из которых широко используются и в настоящее время. Наибольшее количество разработанных к тому времени методов относилось к сортировке путем вставок, обменной сортировке и сортировке посредством выбора.

Четвертый этап продолжался с середины 1970-х до середины 1990-х годов. Появление вычислительных центров, объединяющих мощности отдельных вычислительных машин и позволяющих работать с разделением

времени потребовало разработки новых алгоритмов сортировки и модификации существующих. Началось исследование задач сортировки в классе параллельных алгоритмов, были достигнуты значительные успехи в увеличении скорости сортировки за счет повышения эффективности уже известных к тому времени алгоритмов путем их доработки или комбинирования. Одновременно происходил поиск оптимальных входных последовательностей для разных методов сортировки, что позволяло значительно сократить ее время.

Пятый этап начался с середины 1990-х годов и продолжается по настоящее время. Особую актуальность получило исследование задач сортировки на частично упорядоченных множествах: задач распознавания частично упорядоченного множества M ; задач сортировки частично упорядоченного множества M с использованием результатов попарных сравнений элементов, а также задач определения порядка на множестве M без априорной информации. Актуальность этих задач объясняется появлением и широким распространением компьютеров на сверхсложных микропроцессорах с параллельно-векторной структурой, а также высокоэффективных сетевых компьютерных систем.

Литература:

1. United States Census // Sources of U. S. Census Data, from MIT Libraries, 2011. URL: <http://libraries.mit.edu/guides/types/census/sources.html> (дата обращения: 15.06.2013)
2. Г. В. Электрическая машина Голлерита для подсчета статистических данных // В. О. Ф.Э.М. — 1895. — № 225. — С. 193–201.
3. Дупленко А. Г. Сравнительный анализ алгоритмов сортировки данных в массивах // Молодой ученый. — 2013. — № 8. — С. 50–53.
4. Кнут Д. Э. Искусство программирования, т.3. Сортировка и поиск. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2010.
5. Никитин Ю. Б. Сложность алгоритмов сортировки на частично упорядоченных множествах: автореферат дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.09 / Никитин Юрий Борисович. — Москва, 2001. — 80 с.

Развёртывание системы GridGain для решения реальной математической задачи

Четвериков Михаил Алексеевич, магистрант
Томский политехнический университет

В данной работе рассмотрен вариант использования промежуточного программного обеспечения GridGain для создания сети распределённой обработки данных и реализации на ней реальной математической задачи обнаружения аномалий во временном ряду.

Ключевые слова: GridGain, MapReduce, In-Memory Data Grid, распределённые вычисления, обнаружение выбросов, контекстные аномалии.

Введение

Распределённые вычисления — способ решения трудоёмких вычислительных задач с использованием нескольких компьютеров, чаще всего объединённых в параллельную вычислительную систему [1]. Распреде-

лённые вычисления применимы также в распределённых системах управления.

Последовательные вычисления в распределённых системах выполняются с учётом одновременного решения многих задач. Особенностью распределённых многопроцессорных вычислительных систем, в отличие от локальных

суперкомпьютеров, является возможность неограниченного наращивания производительности за счёт масштабирования. Слабосвязанные, гетерогенные вычислительные системы с высокой степенью распределения выделяют в отдельный класс распределённых систем — грид.

Современный уровень развития вычислительной техники и средств удалённого доступа к ней предоставляет значительные возможности при организации распределённой обработки данных, когда для осуществления трудоёмких вычислений привлекаются ресурсы нескольких обособленных высокопроизводительных компьютерных (или суперкомпьютерных) систем. Такой способ решения сложных в вычислительном плане задач имеет целый ряд преимуществ, основными среди которых являются наиболее эффективное использование включённых в распределённую вычислительную систему обобщённых вычислительных ресурсов и постоянный доступ к ним участников консорциума. Научное применение распределённых вычислений очень широко: математика (поиск простых чисел, чисел Фибоначчи), криптография (экспериментальные переборы шифров), биология/биохимия/медицина (поиск лекарств, синтез и анализ белков, исследования генома человека), естественные науки (проверка научных гипотез, моделирование климата и Земли, расчёты и поиск элементарных частиц, обработка сигналов телескопов) [2].

GridGain

GridGain это основанное на Java промежуточное программное обеспечение для обработки внутри памяти больших данных в распределённой среде. Основано на высокопроизводительных платформах данных внутри памяти, в которую интегрирована самая быстрая в мире реализации MapReduce с технологией In-Memory Data Grid, обладающей простотой в использовании и простотой в масштабировании. Используя GridGain можно обработать терабайты данных на тысячи узлов за одну секунду [3]. GridGain является бесплатной реализацией MapReduce с открытым исходным кодом на языке Java.

Работа MapReduce состоит из двух шагов: Map и Reduce. На Map-шаге происходит предварительная обработка входных данных. Для этого один из компьютеров (называемый главным узлом — master node) получает входные данные задачи, разделяет их на части и передает другим компьютерам (рабочим узлам — worker node) для предварительной обработки. На Reduce-шаге происходит свёртка предварительно обработанных данных. Главный узел получает ответы от рабочих узлов и на их основе формирует результат — решение задачи, которая изначально формулировалась [4].

Задача In-Memory Data Grid — обеспечить сверхвысокую доступность данных посредством хранения их в оперативной памяти в распределённом состоянии. Современные In-Memory Data Grid способны удовлетворить большинство требований к обработке больших массивов данных [5].

Философия системы GridGain такова, что специалисту необходимо развернуть узлы на некоторых компьютерах, подключённых в сеть, и они автоматически должны найти друг друга и создать топологию. Так же специалист может сам указать на одном узле адрес другого узла в этой сети. Все что необходимо после этого, это создать задачи для этих узлов. Задачи создаются с помощью программ, написанных на JAVA или Scala (надстройка над Scala). Цель работы данных программ заключается в указании данных и участка кода, который будет их обрабатывать на каждом узле.

Развёртывание и настройка узла

Для развёртывания GridGain в первую очередь необходимо скачать дистрибутив с официального сайта (<http://www.gridgain.com/>), разархивировать его в любое место на компьютере, задать переменные окружения GRIDGAIN_HOME и JAVA_HOME (пути к папке инсталляции GridGain и виртуальной машины JAVA соответственно). Далее, для проверки, нужно лишь запустить файл \bin\ggstart.bat (в случае, если используется ОС Windows). В данном случае запустится узел GridGain с настройками по умолчанию [6].

Запустив два узла на локальном компьютере или в локальной сети, они обнаружат друг друга и создадут топологию (см. рисунок 1).

Когда запускается GridGain со стандартной конфигурацией, запускается стандартная реализация Service provider interface (IP-multicast обнаружение и основанная на TCP/IP связь). Название сети по умолчанию, «default». Путь к GridGain определяется переменной среды GRIDGAIN_HOME. Многие другие настройки также задаются по умолчанию.

Настройка GridGain осуществляется с помощью интерфейса GridConfiguration. Эта конфигурация применима к методу GridFactory.start (GridConfiguration). Так же возможна настройка с помощью конфигурационных файлов Spring Framework, в частности, если запуск производится с помощью пакетного bat-файла. Стандартный файл настроек расположен по адресу \config\default-spring.xml.

Задача

В качестве задачи для распараллеливания была выбрана задача обнаружения выбросов и аномалий во временном ряду. Таким образом, на вход программе должны подаваться данные каких-либо измерений с течением времени. В результате своей работы, программа должна вывести список единиц входных данных, которые были признаны аномальными.

Аномалии в подобных данных относятся к контекстным аномалиям. Все нормальные экземпляры в контексте будут, в то время как аномалии будут отличаться от других экземпляров в контексте. Общий подход для данной про-

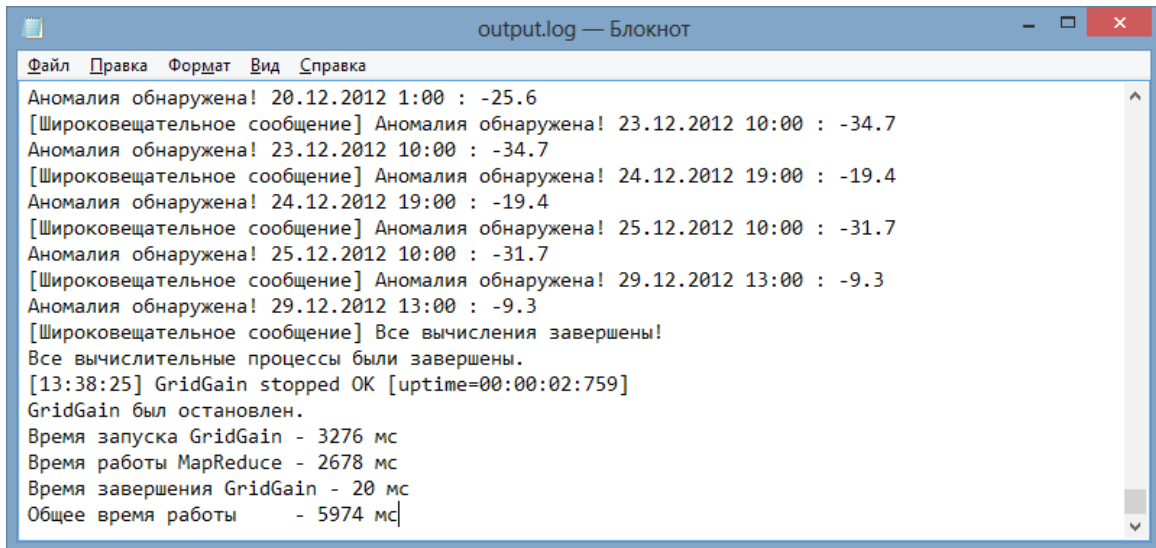


Рис. 2. Результат работы программного обеспечения

В качестве входных данных был выбран температурные показатели по городу Томску за 2012 год. Архив фактической погоды был взят из открытого источника — сайта «Расписание погоды» (<http://rp5.ru/>).

Разработанная программа была протестирована как на локальном компьютере, так и на сети компьютеров с запущенными узлами GridGain. Результат работы программного обеспечения приведён на рисунке 2.

Для проведения сравнения также была разработана линейная (без распараллеливания) реализация алгоритма. Разработка велась на языке высокого уровня VB.NET в среде Visual Studio. В качестве входных использовались те же данные, что и в предыдущем примере. Результат работы программы представлен на рисунке 3.

Таким образом, результаты работы двух программ наглядно демонстрируют, что алгоритм работает быстрее, когда обработка данных распределена между узлами.

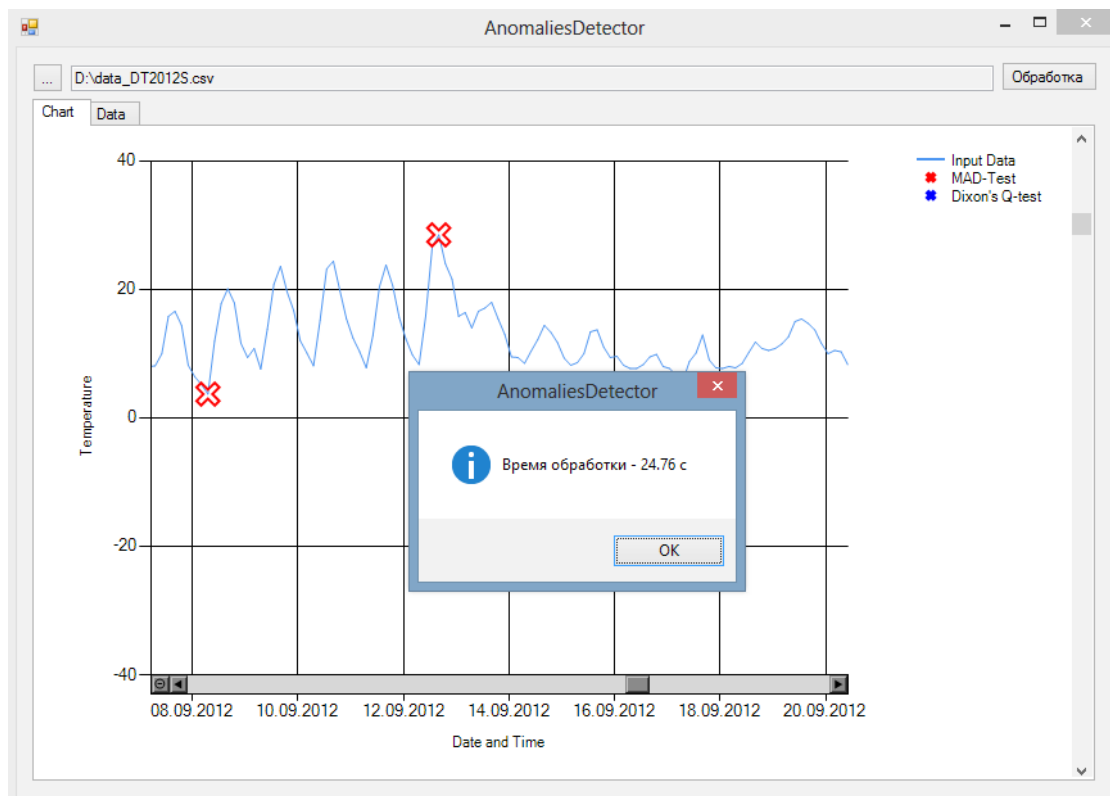


Рис. 3. Результат работы линейной реализации алгоритма

Заключение

В результате проведённого исследования был проведён обзор системы GridGain и технологии MapReduce, который включает в себя рекомендации и описание уста-

новки, развёртывания и тестирования программного продукта. Так же приведена реализация распараллеливания задачи обнаружения аномалий во временном ряду погодных данных при помощи системы GridGain. Работа данной реализации была сравнена с линейной реализацией алгоритма.

Литература:

1. Распределённые вычисления [Электронный ресурс]: Википедия. — США: wikipedia.org, 2013. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Распределённые_вычисления, свободный. — Дата обращения 25.08.2013.
2. В. П. Демкин, А. В. Старченко. Распределённые вычисления: принципы и технологии // Телематика’2009. Труды XVI Всероссийской научно-методической конференции. Том 1. 2009. С. 452
3. GridGain [Электронный ресурс]: Официальный сайт GridGain. — США: gridgain.com, 2013. — Режим доступа: <http://www.gridgain.com/>, свободный. — Дата обращения 17.05.2013.
4. MapReduce [Электронный ресурс]: Википедия. — США: wikipedia.org, 2013. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/MapReduce>, свободный. — Дата обращения 25.08.2013.
5. Что такое In-Memory Data Grid [Электронный ресурс]: Хабрахабр. — Россия: habrahabr.ru, 2012. — Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/160517/>, свободный. — Дата обращения 25.08.2013.
6. Использование Scala и GridGain для разработки распределённых систем с высокой производительностью [Видеозапись, Электронный ресурс]: Интернет архив видеороликов. — Россия: video.yandex.ru, 2011. — Режим доступа: <http://video.yandex.ru/users/xpinjection/view/40/>, свободный. — Дата обращения 25.08.2013.
7. Data Mining for Anomaly Detection [Видеозапись, Электронный ресурс]: Интернет-ресурс видеолекций. — Россия: videolectures.net, 2008. — Режим доступа: http://videolectures.net/ecmlpkdd08_lazarevic_dmfa/, свободный. — Дата обращения 25.08.2013.
8. В. И. Дворкин «Метрология и обеспечение качества количества химического анализа». — М.: Химия, 2001. — 263 с.

Разработка сервис-ориентированной архитектуры в ИСЭРТ РАН

Чугреев Валерий Леонидович, кандидат технических наук, научный сотрудник
Институт социально-экономического развития территорий РАН

«Сервис-ориентированная архитектура (SOA, англ. service-oriented architecture) — модульный подход к разработке программного обеспечения, основанный на использовании распределённых, слабо связанных заменяемых компонентов, оснащённых стандартизированными интерфейсами для взаимодействия по стандартизированным протоколам» [1].

Говоря о SOA, часто подразумевают веб-сервисы или веб-службы — технологию распределённого взаимодействия, воплощающую идеи SOA в среде Интернет (а также Интранет). Взаимодействие осуществляется посредством HTTP протокола (Hyper Text Transfer Protocol). Веб-сервисы позволяют сделать функции программы доступными через Интернет, т. е. разработав некий универсальный функционал, мы можем предоставить его программам, работающим на других компьютерах (и иных вычислительных устройствах типа планшетов, смартфонов и т. д.). Главное, чтобы при этом было подключение к сети Интернет. Как следствие, веб-сервисная технология дает возможность разрабатывать кроссплатформенные решения, а также использовать для напи-

сания сервиса и его потребителя (клиента) разные языки программирования.

Логика работы с веб-сервисом выглядит следующим образом [2]:

1) Владелец веб-сервиса размещает его на сервере, а также определяет формат запросов к сервису и его ответов.

2) Программа-потребитель веб-сервиса делает запрос на выполнение функции, предоставляемой веб-сервисом.

3) Веб-сервис обрабатывает запрос и возвращает ответ в заявленной ранее форме.

По сути, определяется формализованный интерфейс взаимодействия с веб-сервисом, в рамках которого происходит обмен данными между программой-владельцем сервиса и программой-потребителем.

Учитывая существующую организацию программных систем ИСЭРТ РАН в общем виде схему планируемого взаимодействия можно представить следующим образом (рис. 1).

1-й уровень — это веб-сервис. Напомним, что веб-сервис — это программа, которая выполняется на

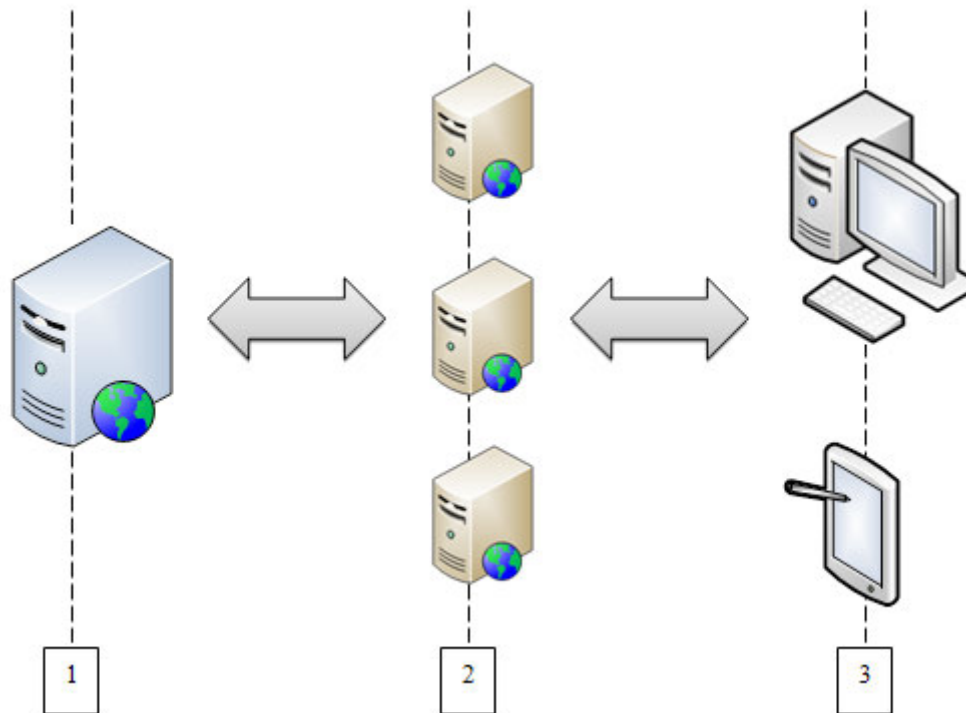


Рис. 1. Схема взаимодействия поставщика и потребителей услуг веб-сервиса

компьютере, а если говорить точнее, то на веб-сервере. На этом рисунке представлен один веб-сервер, но их может быть несколько.

На 2-м уровне находятся потребители услуг веб-сервиса, в случае ИСЭРТ РАН это тоже веб-серверы, на которых развернуты веб-сайты (портал института) и веб-приложения (например, внутренняя система контроля исполнения поручений).

На 3-м уровне находятся конечные потребители. Набирая адрес сайта в Интернет-браузере, мы инициируем взаимодействие между уровнями 2 и 3. Результатом этого взаимодействия является навигация по сайту, а также работа с веб-приложениями.

Веб-сервис позволяет вынести аналогичный программный функционал, используемый на серверах 2-го уровня. Выгода здесь, прежде всего, в отсутствии дублирования программного кода и пользовательской информации (например, регистрационных данных).

Как уже было сказано выше, представленная на рис. 1 схема взаимодействия учитывает существующую веб-ориентированную парадигму разработки программного обеспечения (ПО) в ИСЭРТ РАН. ПО в данном случае — это преимущественно веб-приложения, т. е. большая часть операций реализуется сервером и меньшая клиентом. Клиент — это Интернет-браузер, основная работа которого заключается в отображении результатов работы веб-сервера. Такой подход имеет неоспоримое достоинство в простоте и скорости развертывания ПО на компьютере пользователя. Все, что необходимо для работы веб-приложения — это установленный браузер и подключение

к Интернету. Доступ к ПО может быть осуществлён практически с любого устройства, позволяющего выполнять Интернет-навигацию.

К недостатку данного подхода можно отнести ограничения на вычислительную нагрузку, создаваемую клиентом. Чем больше клиентов и чем больше их вычислительные запросы, тем сложнее веб-серверу их обработать. Для малотребовательных по части вычислительных ресурсов приложений этот недостаток не является проблемой, к таковым относятся подавляющее большинство существующих в настоящее время в ИСЭРТ РАН приложений. Вместе с тем, в связи с проводимой в институте научной работой вполне может возникнуть потребность в разработке ресурсоемких приложений, требовательных к вычислительным ресурсам. Обычно они реализуют в виде десктоп-приложений (приложений, устанавливаемых на компьютер). Большая часть их работы — сложные и длительные вычисления, анализ данных — выполняется на персональном компьютере, а меньшая на сервере, к которому приложение может обращаться, например, за исходными данными. Для таких приложений веб-сервисы также будут полезны. Схема организации взаимодействия с ними показана на рис. 2. Она похожа на ранее представленную схему, главное отличие заключается в том, что приложение, работающее на компьютере, может напрямую обращаться к веб-сервису, т. е. без посредников.

Существуют несколько протоколов взаимодействия с веб-сервисом, перечислим наиболее популярные.

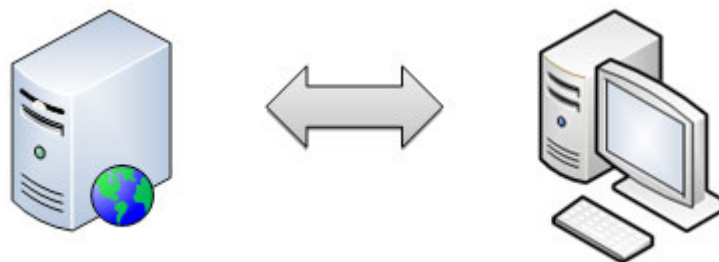


Рис. 2. Схема взаимодействия поставщика и потребителей услуг веб-сервиса для десктоп-приложений

«SOAP (Simple Object Access Protocol) — протокол обмена структурированными сообщениями в распределённой вычислительной среде. Первоначально SOAP предназначался в основном для реализации удалённого вызова процедур. Сейчас протокол используется для обмена произвольными сообщениями в формате XML, а не только для вызова процедур» [3]. «REST (Representational State Transfer) — стиль построения архитектуры распределённого приложения» [4].

Созданные к настоящему моменту в ИСЭРТ РАН программные системы обеспечивают решение самых разных научных и административно-организационных вопросов, но при этом остаются обособленными по части хранения и обмена данных между приложениями. Многие функциональные особенности систем приходится дублировать, например регистрацию пользователей. Учетная запись, созданная в одной системе, никак не используется в другой, что порождает путаницу и неудобство. На уровне программного кода разработчики вынуждены дублировать некоторые блоки кода, что приводит к лишней работе, а также повышает времязатраты на сопровождение существующих систем.

В свете имеющихся планов по созданию новых программных систем, например, системы учета результатов научно-исследовательской деятельности, проблема обособленных данных будет только усугубляться. В связи с вышесказанным считаем необходимым внедрение SOA в существующие, а также планируемые программные разработки ИСЭРТ РАН. Для этого предполагается выполнение следующих этапов.

1-й этап

1) Установка и настройка сервера, необходимого для работы веб-сервисов. Сервер должен поддерживать IIS (Internet Information Services), в нашем случае это реализуется установкой Windows Server.

2) Разработка и запуск программной части веб-сервиса в тестовом режиме. На данном этапе предполагается реализовать программный функционал, ограниченный вводом и выводом информации, относящейся к регистрационным данным пользователя: логин, пароль, ФИО и др. данные пользователя. Схема базы данных, необходимая для реализации такого веб-сервиса представлена на рис. 3.

Информация о пользователе (ФИО) вынесена в отдельную таблицу исходя из тех соображений, что фамилия может быть изменена, например, в случае замужества сотрудницы. При этом необходимо сохранить и старую и новую фамилии в базе данных, а также дату изменения фамилии. Помимо персональных (ФИО) и регистрационных данных (логин, пароль) также необходимо определить группу пользователя, которая будет задавать права доступа.

Программная часть разработки веб-сервиса планируется на языке C# с использованием технологии WCF (Windows Communication Foundation). Клиентская часть веб-сервиса (потребитель его услуг) будет на языке PHP, именно на нем написаны все существующие на данный момент веб-приложения ИСЭРТ РАН.

3) Интеграция и тестирование веб-сервиса с разрабатываемой в настоящее время информационной системы

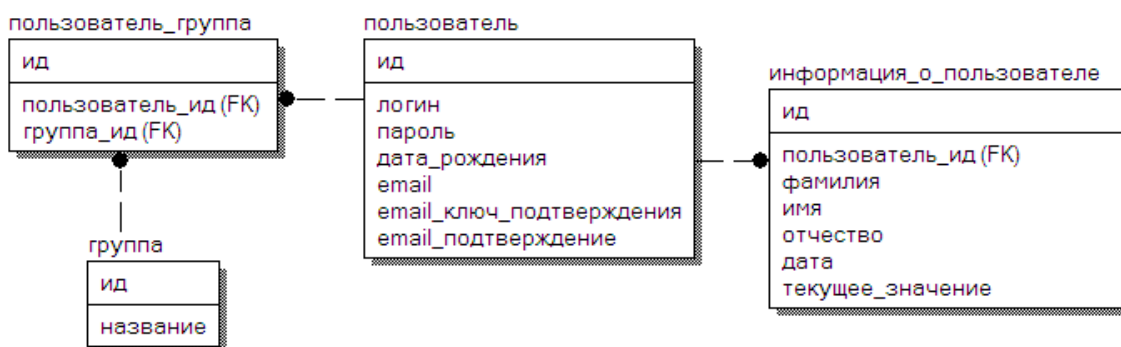


Рис. 3. Схема базы данных для веб-сервиса

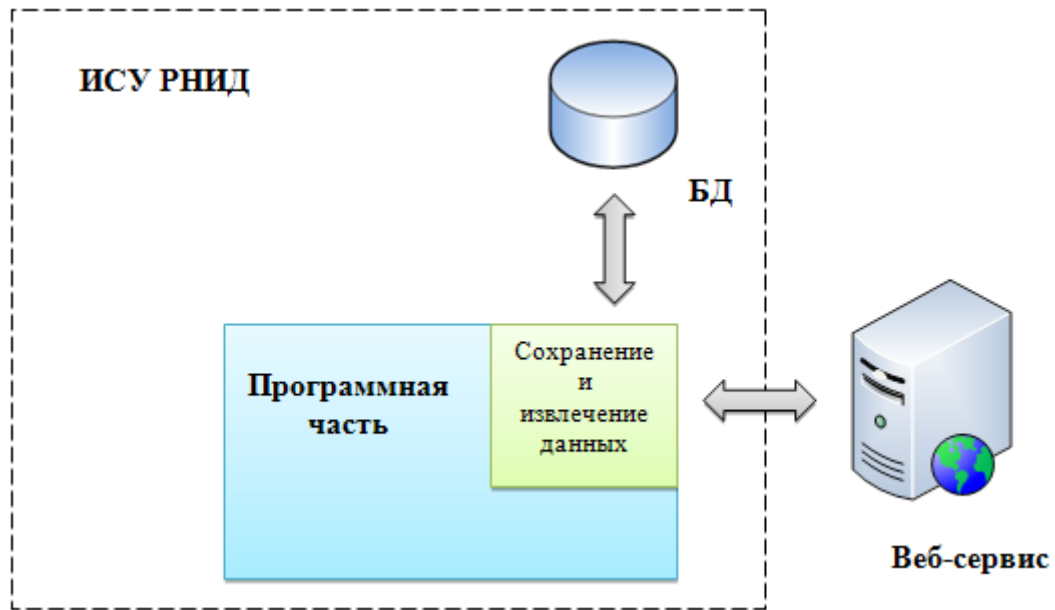


Рис. 4. Взаимодействие ИСУ РНИД с веб-сервисом

учета результативности научно-исследовательской деятельности (ИСУ РНИД). При разработке данной системы изначально закладывается возможность относительно простого перевода части функционала на веб-сервисы к тому моменту, когда они будут запущены и отлажены. На рисунке 4 представлена схема взаимодействия ИСУ РНИД и веб-сервиса.

БД — база данных, необходимая для функционирования системы ИСУ РНИД. Программная часть (PHP-код, выполняющийся на сервере) обрабатывает входящие запросы пользователей, адресуя запросы к БД,

веб-сервису, обрабатывает результаты этих запросов и предоставляет результаты работы системы в удобном для пользователя виде. ИСУ РНИД — это совокупность программной части и базы данных.

Здесь показано объединение данных, получаемых из БД и веб-сервиса. Та часть данных, которая является общей для всех (или большинства) программных систем ИСЭРТ РАН предоставляется веб-сервисами, а специализированные данные, необходимые для работы конкретной программной системы (в данном случае ИСУ РНИД) оформлены в виде отдельной базы данных. Часть

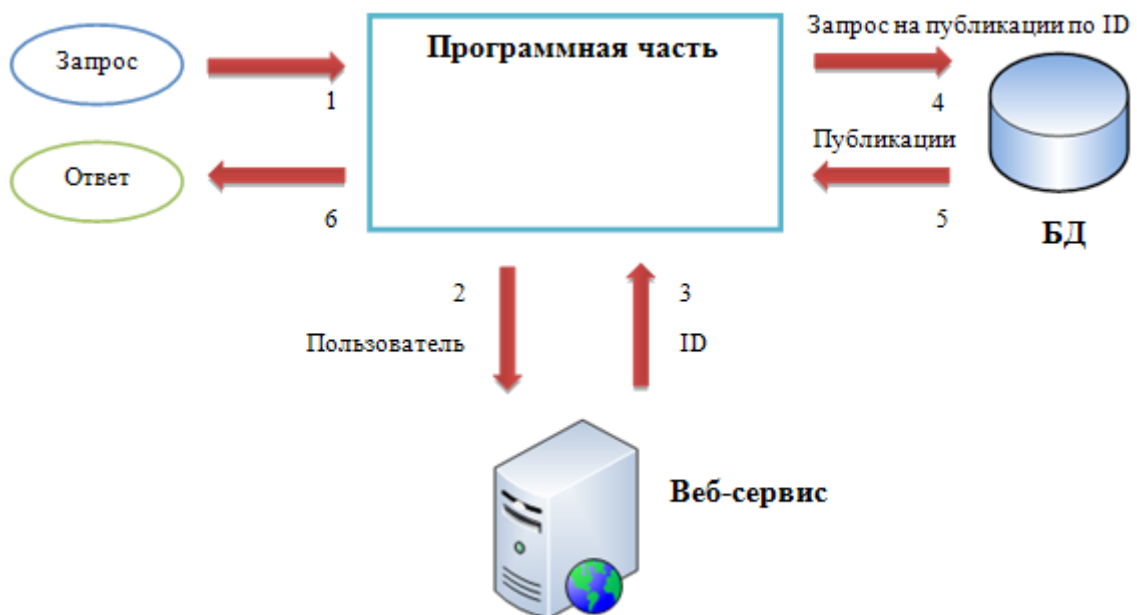


Рис. 5. Формирование зависимых от веб-сервиса запросов к БД

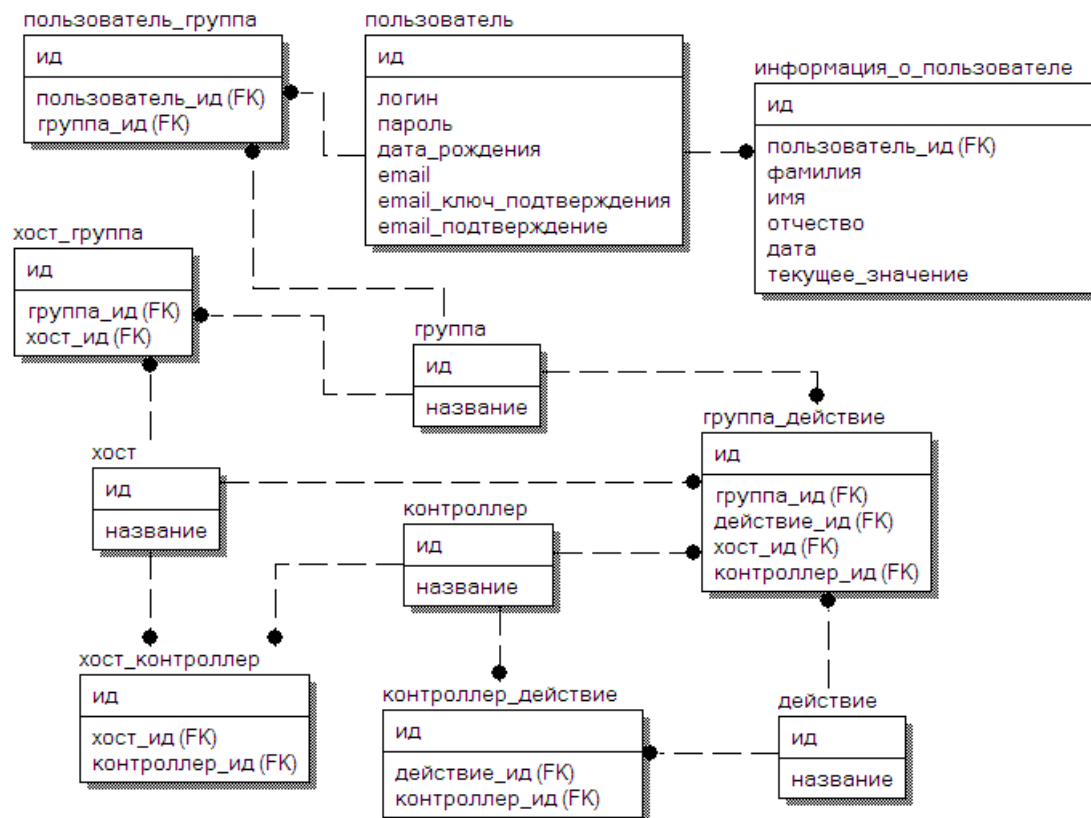


Рис. 6. Расширенная схема базы данных для веб-сервиса

запросов к этой базе данных необходимо формировать на основе данных, получаемых от веб-сервиса, т. е. они будут зависимыми от веб-сервиса. Проиллюстрируем эту зависимость на рис. 5.

Действие № 1 — программная часть (ПЧ) получает запрос, допустим, что это запрос на выдачу списка всех публикаций некоторого пользователя. Действие № 2 — ПЧ обращается к веб-сервису, чтобы получить ID пользователя (ID — это техническое имя, однозначно идентифицируемое пользователя в системе). Действие № 3 — веб-сервис предоставляет идентификатор. Действие № 4 — идентификатор используется в запросе на получение публикаций пользователя (указанного через ID) из базы данных. Действие № 5 — БД возвращает список публикаций в ПЧ. Действие № 6 — ПЧ предоставляет ответ инициатору запроса, в виде списка публикаций.

2-й этап

На основе полученных результатов предыдущего этапа, позволяющих корректно оценить сложность и трудоёмкость работ, можно будет планировать дальнейшие шаги по разработки и внедрения SOA в другие программные системы ИСЭРТ РАН.

Очевидно, что разработка веб-сервисов предполагает реализацию ряда дополнительных методов и вспомо-

могательных структур данных, необходимых для обеспечения режима доступа в соответствии с принадлежностью пользователя к той или иной группе (администратор, начальник отдела, сотрудник и др.). В рамках информационной архитектуры веб-приложений ИСЭРТ РАН расширенная схема базы данных предположительно будет выглядеть следующим образом (рис. 6).

На этой схеме указы такие таблицы как «хост», «контроллер», «группа_действие» и др. Они описывают режим доступа пользователя к определенному сайту (именуемому как «хост») в соответствии с его правами. Под сайтами здесь понимается сайты ИСЭРТ РАН. Права пользователя могут значительно варьироваться в зависимости от того, с каким сайтом он работает. Именно поэтому нам необходимо вводить дополнительные поля, уточняющие возможные для пользователя (а точнее группы, к которой он принадлежит) действия на том или ином сайте.

Также необходимо организовывать в виде веб-сервисов методы доступа к данным организационно-административной структуры института, т. е. реализовать методы, позволяющие получить структуру института (перечень отделов, лабораторий, секторов), выяснить, в каком подразделении работает сотрудник, а также изменить данную информацию в случае необходимости.

Литература:

1. Сервис-ориентированная архитектура [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Сервис-ориентированная_архитектура.
2. Веб-сервисы [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.webmascon.com/topics/technologies/8a.asp>.
3. SOAP [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/SOAP>.
4. REST [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/REST>.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Исследование работы рам в зависимости от способа закрепления

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент;
 Гуляев Дмитрий Владимирович, инженер;
 Родина Екатерина Вячеславовна, магистр
 Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В настоящее время потребность в деревянных строительных конструкциях возрастает ежегодно. Значит, выбор наиболее оптимальных и экономически выгодных конструктивных схем является наиболее перспективных областей исследований в области деревянных конструкций [1]. Авторами уже были опубликованы работы в данном направлении [2], [3].

Цель данного исследования определить оптимальные способы закрепления рам. Оптимальность оценивается путем сравнения материалоемкости различных вариантов. В качестве вариантов были оценены три типа рам: трех шарнирная; одна шарнирная, жесткая. Данные рамы показаны на *рис. 1–3*.

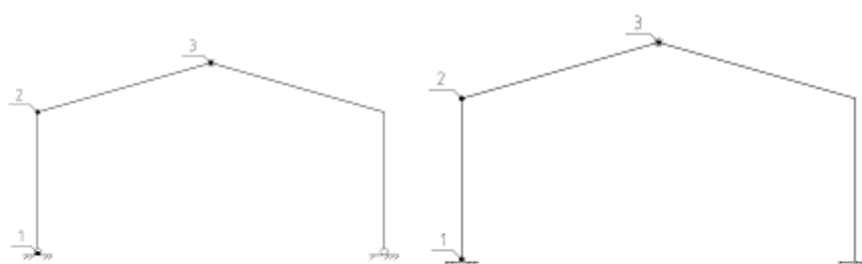
Анализируя эпюры M , N , Q приходим к выводу, что продольная сила в трех рамах практически одинакова, а моменты и поперечные силы различны. Так если рассматривать жесткую и одношарнирную раму, то видно что моменты в карнизном узле одинаковы, а на опоре различны. Но помимо усилий M , N , Q важную роль играет распределение напряжений по высоте сечения. Для анализа и решения проблемы были определены и посчитаны 3 рамы.

Конструктивный расчет рамы

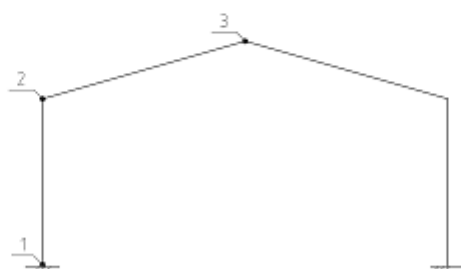
1. Расчет одно шарнирной рамы.

Расчетные усилия $M=26,26 \text{ т} \cdot \text{м}=262,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$ и $N=-8,78 \text{ т}=87,8 \text{ кН}$.

При $h=1200 \text{ мм}$ определяем b .

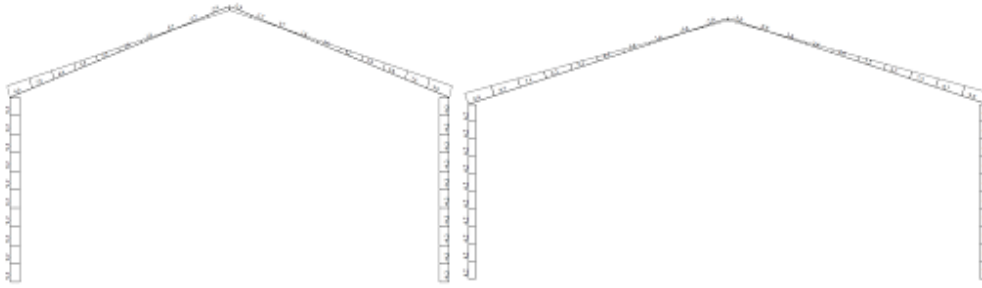


а) Схема 3-х шарнирной рамы; б) Схема 1 шарнирной рамы



в) Схема рамы с жесткими узлами

Рис. 1.



а) Этюра поперечных сил для 1 шарнирной рамы; б) Этюра поперечных сил для 3-х шарнирной рамы



в) Этюра поперечных сил для рамы с жесткими узлами

Рис. 2.

| Qz | 1 шарнирная | 3-х шарнирная | бесшарнирная |
|---------|-------------|---------------|--------------|
| Точка 1 | 9,2 | 6,2 | 7,5 |
| Точка 2 | 9,2 | 6,2 | 7,5 |
| Точка 3 | 2,9 | 2,0 | 2,4 |

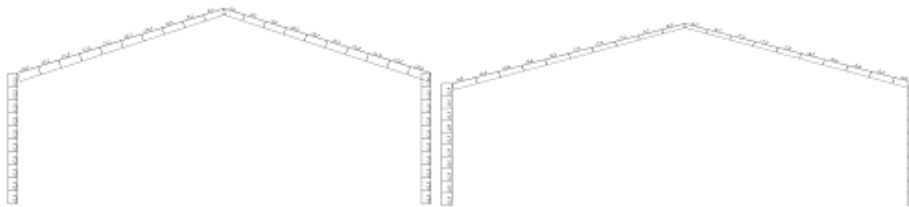


Рис. 3. а) Этюра продольных сил для 1 шарнирной рамы; б) Этюра продольных сил для 3-х шарнирной рамы



в) Этюра продольных сил для рамы с жесткими узлами

Рис. 3.

| Nz | 1 шарнирная | 3-х шарнирная | бесшарнирная |
|---------|-------------|---------------|--------------|
| Точка 1 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| Точка 2 | 12,5 | 12,5 | 12,5 |
| Точка 3 | 9,1 | 6,3 | 7,5 |

Принимаем $b=150\text{мм}$.

Проверка прочности.

Размеры сечения $b \times h = 150 \times 1200\text{мм}$ ($0,15 \times 1,2\text{м}$). Находим значения коэффициентов к расчетному сопротивлению $m_b = 0,8$ и $m_{cl} = 0,99$. Расчетное сопротивление для сосны с учетом этих коэффициентов:

$$R'_c = R'_u = m_b \cdot m_{cl} \cdot R_c = 0,8 \cdot 0,99 \cdot 13 = 10,3\text{МПа}$$

Длина полурамы (она же является и расчетной длиной):

$$l_0 = l_{cm} + l_p = 10 + 12,48 = 22,48\text{м}.$$

Гибкость рамы:

$$\lambda = \frac{l_0}{0,289 \cdot h} = \frac{22,48}{0,289 \cdot 1,2} = 64,82.$$

Коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{64,82^2} = 0,714.$$

Площадь брутто сечения: $F = b \times h = 15,0 \times 120,0 = 1800\text{см}^2$.

Учет переменности высоты сечения по длине стойки производим путем введения коэффициента $k_{жN}$, значение которого определяем по СНиП II-25-80 прил.4, табл.1:

$$K_{жN} = 0,4 + 0,6 \frac{h_{cm}}{h} = 0,4 + 0,6 \cdot \frac{480}{1200} = 0,64.$$

Определяем значение коэффициента:

$$\xi = 1 - \frac{N}{K_{жN} \cdot \varphi \cdot R'_c \cdot F} = 1 - \frac{87,8 \cdot 10}{0,64 \cdot 0,714 \cdot 10,3 \cdot 1800} = 0,896.$$

Расчетный момент сопротивления проверяемого сечения:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{15,0 \cdot 120,0^2}{6} = 36000\text{см}^3.$$

Проверка прочности сечения производим по формуле:

$$\frac{N}{F} + \frac{M}{\xi W} \leq R_c \cdot m_b \cdot m_{cl}.$$

$$\frac{87,8 \cdot 10}{1800} + \frac{262,6 \cdot 10^3}{0,896 \cdot 36000} = 8,6 < R'_c = 10,3\text{МПа}$$

Прочность сечения обеспечена.

1. Расчет трех шарнирной рамы.

Расчетные усилия $M = 34,4\text{т} \cdot \text{м} = 344\text{кН} \cdot \text{м}$ и $N = -8,68\text{т} = 86,8\text{кН}$.

При $h = 1200\text{мм}$ определяем b .

Принимаем $b = 175\text{мм}$.

Проверка прочности.

Расчетные усилия $M = 34,4\text{т} \cdot \text{м} = 344\text{кН} \cdot \text{м}$ и $N = -8,68\text{т} = 86,8\text{кН}$. Размеры сечения $b \times h = 175 \times 1200\text{мм}$ ($0,175 \times 1,2\text{м}$). Находим значения коэффициентов к расчетному сопротивлению $m_b = 0,8$ и $m_{cl} = 0,99$.

Расчетное сопротивление для сосны с учетом этих коэффициентов:

$$R'_c = R'_u = m_b \cdot m_{cl} \cdot R_c = 0,8 \cdot 0,99 \cdot 13 = 10,3\text{МПа}.$$

Длина полурамы (она же является и расчетной длиной):

$$l_0 = l_{cm} + l_p = 10 + 12,48 = 22,48\text{м}.$$

Гибкость рамы:

$$\lambda = \frac{l_0}{0,289 \cdot h} = \frac{22,48}{0,289 \cdot 1,2} = 64,82.$$

Коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{64,82^2} = 0,714.$$

Площадь брутто сечения: $F = b \times h = 17,5 \times 120,0 = 2100 \text{ см}^2$.

Учет переменности высоты сечения по длине стойки производим путем введения коэффициента $k_{жН}$, значение которого определяем по СНиП II-25-80 прил.4, табл.1:

$$K_{жН} = 0,4 + 0,6 \frac{h_{см}}{h} = 0,4 + 0,6 \cdot \frac{480}{1200} = 0,64.$$

Определяем значение коэффициента:

$$\xi = 1 - \frac{N}{K_{жН} \cdot \varphi \cdot R_c' \cdot F} = 1 - \frac{86,8 \cdot 10}{0,64 \cdot 0,714 \cdot 10,3 \cdot 2100} = 0,912.$$

Расчетный момент сопротивления проверяемого сечения:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{17,5 \cdot 120,0^2}{6} = 42000 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности сечения производим по формуле:

$$\frac{N}{F} + \frac{M}{\xi W} \leq R_c \cdot m_{\sigma} \cdot m_{сл}.$$

$$\frac{86,8 \cdot 10}{2100} + \frac{344 \cdot 10^3}{0,912 \cdot 42000} = 9,4 < R_c' = 10,3 \text{ МПа}$$

Прочность сечения обеспечена.

2. Расчет жесткой рамы

Расчетные усилия $M = 22,74 \text{ т} \cdot \text{м} = 227,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ и $N = -8,67 \text{ т} = 86,7 \text{ кН}$.

При $h = 1200 \text{ мм}$ определяем b .

Принимаем $b = 120 \text{ мм}$.

Проверка прочности.

Расчетные усилия $M = 22,74 \text{ т} \cdot \text{м} = 227,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$ и $N = -8,67 \text{ т} = 86,7 \text{ кН}$. Размеры сечения $b \times h = 135 \times 1200 \text{ мм}$ ($0,135 \times 1,2 \text{ м}$). Находим значения коэффициентов к расчетному сопротивлению $m_{\sigma} = 0,8$ и $m_{сл} = 0,99$.

Расчетное сопротивление для сосны с учетом этих коэффициентов:

$$R_c' = R_u' = m_{\sigma} \cdot m_{сл} \cdot R_c = 0,8 \cdot 0,99 \cdot 13 = 10,3 \text{ МПа}.$$

Длина полурамы (она же является и расчетной длиной)

$$l_0 = l_{см} + l_p = 10 + 12,48 = 22,48 \text{ м}.$$

Гибкость рамы:

$$\lambda = \frac{l_0}{0,289 \cdot h} = \frac{22,48}{0,289 \cdot 1,2} = 64,82.$$

Коэффициент продольного изгиба:

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} = \frac{3000}{64,82^2} = 0,714.$$

Площадь брутто сечения: $F = b \times h = 13,5 \times 120,0 = 1620 \text{ см}^2$.

Учет переменности высоты сечения по длине стойки производим путем введения коэффициента $k_{жН}$, значение которого определяем по СНиП II-25-80 прил.4, табл.1:

$$K_{жН} = 0,4 + 0,6 \frac{h_{см}}{h} = 0,4 + 0,6 \cdot \frac{480}{1200} = 0,64.$$

Определяем значение коэффициента:

$$\xi = 1 - \frac{N}{K_{жН} \cdot \varphi \cdot R_c' \cdot F} = 1 - \frac{86,7 \cdot 10}{0,64 \cdot 0,714 \cdot 10,3 \cdot 1620} = 0,886.$$

Расчетный момент сопротивления проверяемого сечения:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{13,5 \cdot 120,0^2}{6} = 32400 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности сечения производим по формуле:

$$\frac{N}{F} + \frac{M}{\xi W} \leq R_c \cdot m_{\delta} \cdot m_{cl}.$$

$$\frac{86,7 \cdot 10}{1620} + \frac{227,4 \cdot 10^3}{0,886 \cdot 32400} = 8,5 < R_c' = 10,3 \text{ МПа}.$$

Прочность сечения обеспечена.

Таким образом, можно составить диаграмму материалоемкости (рис. 4), из которой видно, что наиболее материалоемкая рама имеет трёхшарнирное опирание. Выбрав оптимальный вариант конструкций деревянных рам, можно существенно снизить экономические издержки при строительстве зданий и сооружений

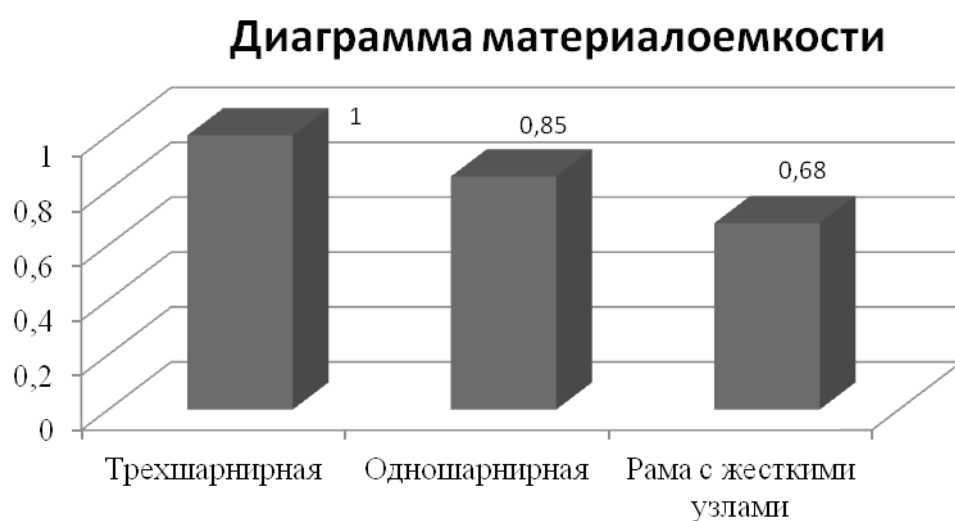


Рис. 4. Диаграмма материалоемкости

Литература:

1. Арискин М. В. Исследование напряженно-деформированного состояния гнутых карнизных узлов рам [Текст] / М. В. Арискин, Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева // Молодой ученый. — 2013. — № 3. — С. 19–25.
2. Арискин М. В Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния элементов соединений на клеенных шайбах [Текст] / Арискин М. В., Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева, Гарькин И. Н. // Молодой ученый. — 2013. — № 2. — С. 27–31.
3. Арискин М. В Современные тенденции развития проектирования в строительстве [Текст] / Арискин М. В., Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева, Гарькин И. Н // Молодой ученый. — 2012. — № 10. — С. 31–33.

Методика построения конечно-элементной модели

Арискин Максим Васильевич, кандидат технических наук, доцент;
Родина Екатерина Вячеславовна, магистр;
Гуляев Дмитрий Владимирович, инженер
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Статья посвящена методике построения конечно-элементной модели для получения максимально точной картины напряжения в программно-вычислительных комплексах использующих метод МКЭ.

Ключевые слова: метод МКЭ, напряжения, деревянные конструкции.

Использование вычислительных программных комплексов играют первостепенную роль в развитии методик расчёта [1], а так же экономической эффективности проектирования [2]. Однако при их использовании могут возникнуть ряд проблем, одной из такой проблемы можно считать построение максимально точной конечно-элементной модели. Особенно это актуально для деревянных конструкций, что было отмечено в работах [3], [4]. Ниже предлагает способ решения данной проблемы.

Схема была разбита вручную МКЭ в виде пластин. Для достижения лучшей картины напряжений разработана сетка конечных элементов с шагом 0.1 метр. Конструкции гнутого узла, ригеля и стойки разрабатывались отдельно друг от друга.

Анализ результатов расчетов при автоматическом построении схемы и ручном.

Как видно из *рис. 1* при ручной разбивке треугольных элементов не возникает (*рис. 1 а*), а при автоматической разбивки (*рис. 1 б*) возникают элементы не правильной формы, что приводит к искажению изополей напряжений в данном элементе.

Все внутренние напряжения в каждом пластинчатом конечном элементе были выровнены по направлению вдоль волокон древесины, что предоставляет реальную картину происходящих процессов в исследуемой раме.

Таким образом, для дальнейшего исследования была разработана методика разбивки рамы на конечные элементы

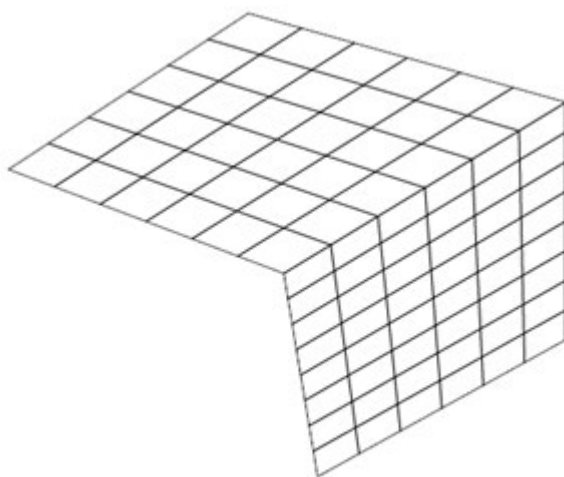
Последовательность разбивки рамы на конечные элементы:

1. После построения узла, в зависимости от количества горизонтальных точек верха ригеля, на такое же разбивается нижняя.

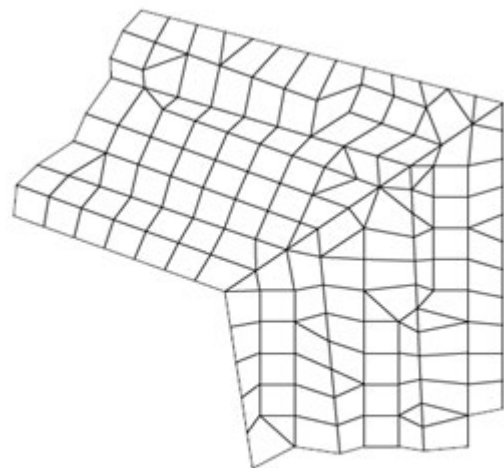
2. С помощью функции «задание контура» обозначается контур через четыре точки, из них две ближайшие верхние и соответствующие им нижние.

3. Производится разбивка контура на пластины. Задается шаг разбивки 0.1 м. Действие повторяется несколько раз.

Таким образом, избегается перепад напряжений, появление нежелательных сопряжений и элементов других конфигураций. Улучшается эстетический вид.



а) ручная разбивка сетки



б) сетка, построенная Склад

Рис. 1. Построение сетки

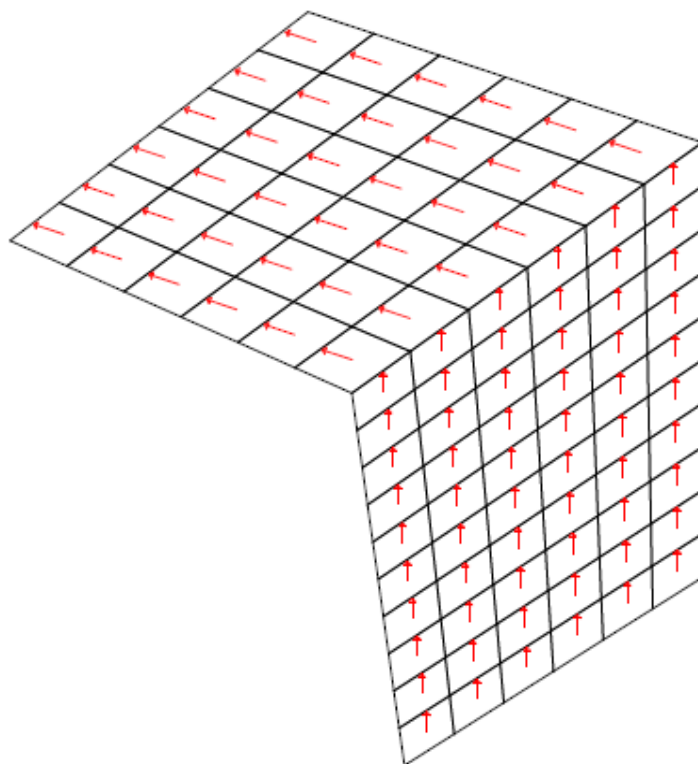
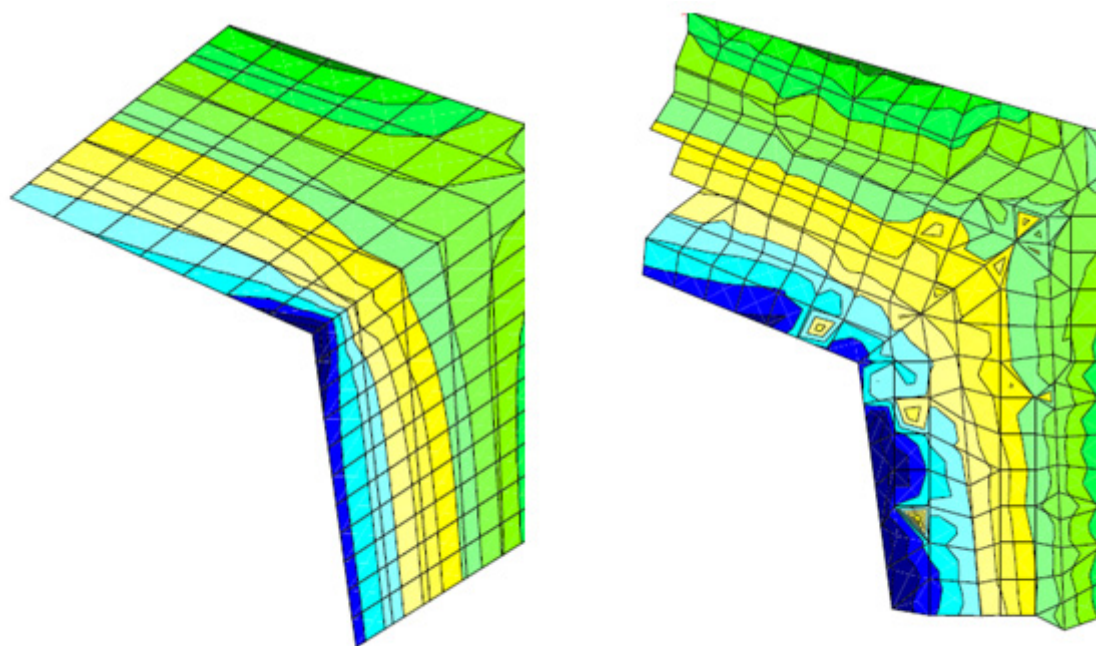


Рис. 2. Схема выдачи внутренних напряжений



а) ручная разбивка сетки

б) сетка, построенная Скад

Рис. 3. Изополя напряжений

Таким образом, использование приведенной выше методики может существенно повысить эффективность проектировщика при работе с программно вычислительными комплексами, что в свою очередь повлечёт за собой улуч-

шения качества конечного продукта (проекта) и повысит безопасность проектируемых строительных конструкций на практике.

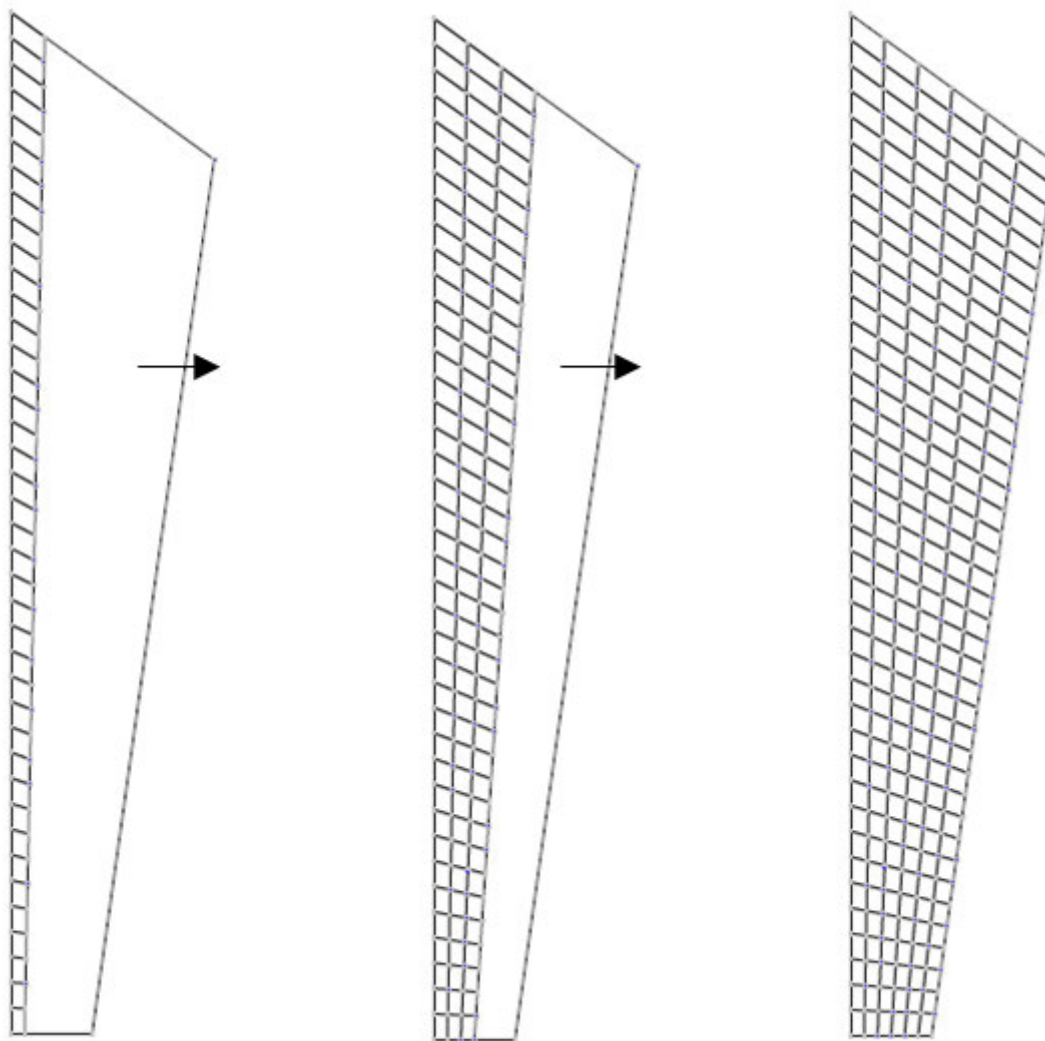


Рис. 4. Последовательность моделирования стойки

Литература:

1. Арискин М. В., Гуляев Д. В., Гарькин И. Н., Агеева И. Ю. Современные тенденции развития проектирования в строительстве [Текст] // Молодой учёный (№ 10 (45) Октябрь 2012 г.) с. 31–33.
2. Арискин М. В., Гуляев Д. В., Гарькин И. Н., Агеева И. Ю.. Экономическая эффективность проектирования в комплексе Allplan по сравнению с существующими САД-системами [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 5. — С. 32–35.
3. Арискин М. В., Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева, Гарькин И. Н Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния элементов соединений на клеенных шайбах [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 2. — С. 27–31.
4. Арискин М. В., Д. В. Гуляев, И. Ю. Агеева, Гарькин И. Н Применение многорядных соединений в деревянных конструкциях в практике строительства [Текст] // Молодой ученый. — 2013. — № 5. — С. 35–38.

Особенности организации и оформления грузов при международных перевозках в контейнерах, с предварительной кантовкой их при погрузке

Бобина Марина Александровна, студент

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (г. Москва)

В статье рассматриваются особенности организации и оформления навалочных и насыпных грузов по технологии перевозки с предварительной кантовкой крупнотоннажных контейнеров в вертикальное положение при погрузке.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, технология, кантователь, оформление документации

Перевозки насыпных и навалочных грузов в универсальных крупнотоннажных контейнерах, с предварительной кантовкой их в вертикальное положение при погрузке, и продолжают расширяться как в мировой практике, так и в России [1, с. 10; 2, с. 18]. Контейнерный способ доставки превратился в эффективную, признанную странами мира систему организации и продвижения грузопотоков. [3, с. 185; 4, с. 55]. Эта система объединила в себе огромные парки контейнеров и подвижного состава, созданных по международным стандартам; перегрузочные средства, сети контейнерных терминалов. Технология позволяет ритмично отгружать грузы и осуществлять доставку товара точно в срок, что актуально для многих грузопользователей, ибо сокращается потребность в складах. [5, с. 17; 6, с. 23]. Контейнеры перевозятся всеми видами транспорта и в смешанных сообщениях, пересекают границы стран под таможенными пломбами, а положения коммерческого их оформления в основном унифицированы.

Кантовка крытого универсального контейнера в вертикальную позицию для загрузки продукции позволяет повысить его наполняемость, лучше использовать вместимость. [7, с. 16; 8, с. 70]. По этой технологии в мировой практике осуществляются массовые перевозки ферросплавов, лома черных и цветных металлов, резаной резины, окатышей, макулатуры, зерна, семян, орехов и целого ряда других грузов. [7, с. 14; 9, с. 3].

Так в 2011 г. объем экспорта из США лома в контейнерах превысил 250 тыс. единиц (в 20-футовом исчислении), или около 4 млн. т лома. [10, с. 4]. При этом для лома при океанских перевозках его стоимость в контейнере на условиях CIF порт назначения оказалась ниже, чем при традиционной технологии. Уже более 3 лет месячные объемы трансокеанских поставок лома в контейнерах в страны ЮВА превышают поставки морем на судах-навалочниках.

Американские экспортеры отгружают на судне уже партии в 42–45 тыс. т, на что способен далеко не каждый ломо-заготовитель. По новой технологии отправляют лом равномерно группами контейнеров, что удобно для мелких и средних производителей.

Коммерчески важно, что доставка грузов в крытых контейнерах с установкой дверьми друг к другу на ж/д

платформе — более безопасный, чем другие, способ перевозки. Пока контейнеры стоят на платформе, открыть двери и проникнуть внутрь через проем невозможно. Значительная масса и требуемый большой вылет стрелы крана практически защищают перевозку от массовых хищений. Даже при доставке в крытых вагонах хищений больше, ведь через боковые двери проще проникнуть, сорвав замок, пломбу [11, с. 12].

Поэтому развиваются перевозки ряда навалочных и насыпных грузов в крытых универсальных контейнерах ИСО, с кантовкой контейнера вертикально при погрузке для равномерного заполнения. Слабым местом в конструкции такого контейнера являются двери. После погрузки груза навалом в контейнер, скантованный вертикально, двери стремятся не открывать до выгрузки. Когда контейнер стоит горизонтально, если повернуть засовы, потом двери не позволяют вернуть в обратное положение выдвинувшийся груз. Экспортером предварительно должна быть на месте проработана возможность выполнения работ по контейнерной технологии, оформления экспорта на таможне, условия предоставления контейнера и прочее.

Транспортные условия контракта на груз должны оговаривать поставку контейнерами ИСО с указанием типоразмера контейнера, максимальной массы, количества контейнеров в группе; обязательств покупателя по выгрузке груза из контейнера, очистки его от остатков груза и сроках возврата в исправном состоянии в определенный, оговоренный сторонами пункт передачи. [12, с. 34].

При ж/д перевозке в страны дальнего зарубежья контейнеры предъявляются только комплектами на платформу дверьми друг к другу. При отправке внутри России и в ряд республик СНГ допустима отправка одного контейнера. Контейнер пересекает границы по упрощенной процедуре контроля — по сохранности пломбы. Вскрытие производится в отдельных случаях, в основном при поиске оружия или наркотиков. В пункте назначения он выдается получателю только после оплаты всех услуг транспорта, включая обязательства по возврату порожней единицы после выгрузки. [13, с. 28].

Используемый контейнер может быть в собственности экспортера (или в лизинге), контейнером транспорта или в собственности 3-й стороны — оператора, экспедитора.

Если контейнер предоставляется транспортом или же экспедитором, отправитель лишь оплачивает сквозную ставку. Заботы по слежению, возврату порожнего контейнера, его обратной загрузке ложатся на организацию, предоставившую услуги. Когда перевозка идет в контейнерах экспортера, он должен сам или привлекая на договорной основе компетентного экспедитора обеспечить доставку в заданный срок груза, а также возврат контейнера.

Перевозки контейнеров ж/д транспортом в значительной мере регламентированы, а морем и автотранспортом выполняются на договорной основе между перевозчиком и грузовладельцем. Грузоотправитель отвечает за размещение груза в контейнере до пункта назначения. Если будет составлен коммерческий акт, что возникло повреждение из-за неправильного размещения груза внутри и виновен отправитель, то претензия будет экспортеру товара, даже если это случится вне территории России. [14, с. 23].

В настоящее время до 1/3 экспортных контейнеров поступают в российские порты перевалки автотранспортом. Опыт показывает, что если груз в контейнере благополучно прибыл в порт перевалки рекой или автотранспортом, то после перевозки морем он, как правило, без претензий доходит и до иностранного получателя, даже при вывозе его из ино-порта железной дорогой. Перевозка же на железных дорогах стран СНГ и Балтии связана с большими продольными ускорениями, и поэтому вопрос размещения грузов в контейнерах при ж/д перевозках более заформализован и требует соответствующего внимания. [15, с. 64]. Так, должны выполняться требования «Технических условий размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах», утвержденные МПС России 27.05.03 г. (№ ЦМ-943).

Коммерчески важно, чтобы внутри контейнера был полный комплект отгрузочных документов с указанием

реквизитов отправителя, получателя, номера контракта, качества и массы нетто груза. Что актуально, учитывая тенденцию перепродажи контейнеров с товарами еще в море. [16, с. 28].

При работе по технологии с кантовкой краном большой грузоподъемности это практически труднодостижимо. С целью максимального использования вместимости навалочный или насыпной груз загружается в установленный вертикально контейнер, затем контейнер кантуется горизонтально и перемещается на автотранспортное средство. После взвешивания на автовесах масса груза заносится в документацию. Однако вложить один экземпляр документов вовнутрь затруднительно, ведь на горизонтально стоящем контейнере не приоткрывают двери. Если документы посылают отдельно, то возникают риски утери груза. Или контейнер нужно вторично кантовать, чтобы вложить документы.

Прогрессивной технологией является применение контейнерного кантователя. Он представляет собой мобильное устройство, с автономным гидравлическим блоком. (Рис. 1). При помощи рамы с приводом от 2 гидроцилиндров он обеспечивает снятие-установку 20-футового контейнера (массой до 30 т) с автотрейлера на площадку и его разворот на 90° в вертикальное положение. После установки контейнера, с заблаговременно открытыми дверьми вертикально груз загружается краном или конвейером, с контролем массы по показаниям встроенных в опоры тензометрических весов. Имеется устройство механизированного закрытия дверей, с приводом от штанги гидроцилиндра. [17, с. 19; 18, с. 65].

По этой технологии заранее распечатывают документы и прикладывают сертификат качества товара. После окончания погрузки в документацию (инвойс, описание вложения и т. п.) вписывают массу нетто по показаниям весов. Один из экземпляров документов прикрепляют к внутренней



Рис. 1. Кантователь крупнотоннажных контейнеров — погрузка лома

стороне створки двери и кантователь их автоматически закрывает (двумя дополнительными гидроцилиндрами). Уже после опускания, двери пломбируют.

Кантователь обслуживает 1 человек и обеспечивает погрузку или выгрузку контейнера с автотранспорта без тяжеловесного крана. Кроме того, экономическая окупаемость кантователя обуславливается загрузкой контейнеров практически до полной грузоподъемности, благодаря контролю массы груза по тензометрическим весам. Ведь при таких перевозках транспортные расходы идут преимущественно за 1 контейнер. При альтернативном варианте с кантовкой контейнера краном, как показывает практика, приходится не догружать в контейнер до 1 т груза, ибо контейнер взвешивается уже после на авто-весах. Кантователь комплексно разрешает возникающие технологические и коммерческие проблемы. [19, с. 50].

Освоив технологию оформления контейнеров на экспорт и наладив связи со станцией и таможней, экспортер имеет возможность расширить географию своего экспорта. Грузы в крытых контейнерах под таможенной пломбой можно отправлять в смешанных сообщениях по кратчайшим маршрутам. К примеру, в Австрию по Дунаю через порты Украины, в Индию и Дубай

по Каспию транзитом через Иран, в Китай транзитом через Казахстан. Такие маршруты имеют круглогодичную экономическую эффективность, на ряде направлений — до 40 долл./т. По традиционной технологии эти транспортные пути трудноосуществимы из-за таможенных проблем. [20, с. 11].

Кроме того, ставки морского фрахта сезонно увеличиваются в 2,5 раза (от среднего уровня) в сентябре — ноябре в период массовых перевозок продукции нового урожая, в то время как морские контейнерные тарифы более стабильны. ОАО «РЖД» вообще сезонно не меняет тарифы на перевозку. Регулярно возникают периоды, когда затраты на транспорт в контейнерах ниже. По целой группе экспортных направлений такой сезонный эффект достигает 10–25 долл./т экспортируемого груза.

Благодаря качественным преимуществам многие предприятия-получатели все шире предпочитают контейнерные поставки. Даже при некотором увеличении транспортных издержек возникает экономия на складах, и предприятия получают товары точно в срок. За контейнерными перевозками насыпным и навалочных грузов, с предварительной кантовкой универсальных контейнеров, большое будущее.

Литература:

1. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Проблемы, пути решения и перспективы развития контейнерных перевозок в России // Вестник транспорта Поволжья. 2007. № 7. С. 9–11.
2. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Зарубежный и отечественный опыт перевозок наливных, насыпных и навалочных грузов в универсальных контейнерах на принципах логистики. // Транспорт: наука, техника, управление. 2010. № 1. С. 17–19.
3. Малов В. Ю., Кибалов Е. Б. Формирование единого транспортного пространства России в контексте экономического развития ее восточных регионов // Регион: Экономика и Социология. 2009. № 2. С. 183–191.
4. Толкачева М. М., Елизарьев Ю. В., Майорова Е. С., Мартынова Л. А., Агафонова Л. Н. Совершенствование управления холдингом «РЖД» // Экономика железных дорог. 2008. № 6. С. 55.
5. Степанов А. Л., Куренков П. В. Проблемы экспорта транспортных услуг // Транспорт: наука, техника, управление. 2007. № 5. С. 16–19.
6. Кириченко С. А., Кириченко А. С. Упущенные возможности при морском экспорте лома. // Вторичные металлы. 2009. № 6. С. 21–24.
7. Гагарский Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Развитие перевозок насыпных и навалочных грузов в универсальных контейнерах. // Бюллетень транспортной информации. 2010. № 4. С. 14–18.
8. Кириченко С. А., Кириченко А. С. Антикризисная контейнеризация. // Вторичные металлы. 2009. № 3. С. 70–71.
9. Гагарский Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Контейнеризация в ферросплавной промышленности // Бюллетень транспортной информации. 2011. № 5. С. 3–6.
10. Гагарский Э. А., Кириченко С. А., Трихунков М. Ф. Тенденции развития контейнерных транспортно-технологических систем на современном этапе. // Бюллетень транспортной информации. 2011. № 2. С. 3–7.
11. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Контейнеризация перевозок лома. // Вестник транспорта. 2009. № 8. С. 10–13.
12. Гагарский Э., Тонких А., Кириченко С. Правовое регулирование перевозок грузов. // Морской флот. 2007. № 5. С. 33–36.
13. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Развитие логистических систем комбинированных перевозок // Бюллетень транспортной информации. 2007. № 5. С. 28–30.
14. Куренков П. В., Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Концептуально новая транспортно-технологическая система работы с контейнерами на транспорте // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 1. С. 22–25.
15. Митрохин Ю. В., Толкачева М. М. Мотивация работников ОАО РЖД к внедрению инновационных технологий. // Экономика железных дорог. 2010. № 5. С. 64.

16. Гагарский Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Логистические аспекты контейнеризации продукции ферросплавной промышленности. // Интегрированная логистика. 2011. № 3. С. 27–30.
17. Гагарский Э. А., Кириченко С. А., Кириченко А. С. Развитие контейнерных перевозок лома. // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 2. С. 18–21.
18. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Технологические особенности контейнерной перевозки лома. // Вторичные металлы. 2008. № 4. с. 64–65.
19. Гагарский Э. А., Кириченко С. А. Контейнерные перевозки лома. // Вторичные металлы. 2008. № 3. С. 48–50.
20. Гагарский Э. А., Полянцев Ю. Д. Нормативно-правовые документы должны соответствовать требованиям реализации прогрессивных транспортно-технологических систем. // Бюллетень транспортной информации. 2009. № 9. С. 7–13.

Каталитическое разделение сырой нефти под воздействием матричных структур

Богачев Дмитрий Анатольевич, аспирант
Тамбовский государственный технический университет

В работе приведены результаты экспериментальных исследований способа разделения нефти, позволяющего повысить выход и нормативные показатели прямогонного бензина при воздействии матричных структур в наноструктурированной форме.

Ключевые слова: нефть, катализатор в наноструктурированной форме, матричные структуры, прямогонный бензин, октановое число.

Нефть — основной источник энергии. На энергоносителях, полученных из нефти, работают двигатели сухопутного, водного и воздушного транспорта, турбины тепловых электростанций.

Для повышения эффективности использования природных ресурсов, увеличение глубины переработки нефти — одна из важнейших задач современного человечества. Нефть — не возобновляемый природный ресурс, имеющий первостепенное значение в сфере энергетики.

Значительную долю в объемах производства продуктов нефтепереработки занимает автомобильный бензин, который играет важную роль в энергетическом обеспечении экономики страны. Рост цен на нефть в значительной степени влияет на объём производства автомобильного бензина. Поэтому перед нефтеперерабатывающими предприятиями стоит задача обеспечения выхода товарного продукта за счёт переработки низкосортных прямогонных бензинов, имеющих узкую область применения, в автомобильные бензины с нормативными показателями, отвечающими современным стандартам Евро.

Разработка способов получения прямогонного бензина с нормативными показателями высококачественного товарного продукта является первоочередной задачей, которая может быть решена за счет увеличения глубины первичной переработки нефти при реализации каталитического воздействия на сырую нефть матричных структур, нанокатализаторов [1].

Матрицы разборки нефти формируются на основе ее пепельной структуры. Матрицы сборки легких фракций (бензинов) аналогично нефти. Матрицы пепельных структур собираются на основе сырой нефти и дистиллята,

полученных при их сжигании в муфельной печи при температуре 600°C.

Полученные пепельные структуры после предварительного измельчения до размера 100 мкм подвергались рентгенофлуоресцентному анализу на элементный состав на спектрометре EDX3600B. Анализ на элементный состав образцов пеплов выполняется автоматически по заданной программе.

Результат рентгенофлуоресцентного анализа пепла нефти приведен в таблице 1.

Результат рентгенофлуоресцентного анализа пепла дистиллята представлен в таблице 2.

Данные по элементному составу сырой нефти и дистиллята являются отправной информацией для составления матриц разборки нефти и сборки бензинов. В матрицы для увеличения силы воздействия вводятся усилители — металлы в наноструктурированной форме:

- 1) Для сырой нефти — Ni, Co, Mg, Cr.
- 2) Для дистиллята — Si, S, Na, Mg.

Матрица разборки нефти готовится в муфельной печи при температуре 600°C.

Матрица дистиллята готовится аналогично, но со своим набором усилителей.

Термокаталитическое разделение нефти проводится без использования матриц и при их использовании:

- 1) структура матрицы № 1 — матрица сырой нефти;
- 2) структура матрицы № 2 — матрица сырой нефти с введенными усилителями — металлами в наноструктурированной форме;
- 3) структура матрицы № 3 — матрица разборки нефти № 2 совместно с матрицей сборки дистиллята

Таблица 1. Основные элементы, входящие в состав пепла нефти, и их количество

| Элемент | Количество (%) |
|---------|----------------|
| Si | 6,6 |
| S | 6,1 |
| Na | 7,4 |
| Mg | 9,3 |
| Co | 3,8 |
| Ni | 1,7 |

Таблица 2. Основные элементы, входящие в состав пепла дистиллята и их количество

| Элемент | Количество (%) |
|---------|----------------|
| Si | 4,2 |
| S | 2,1 |
| Na | 6,0 |
| Mg | 8,4 |

Разделение сырой нефти проводили без введения катализатора и с использованием трех вариантов структур матриц. Для процесса разделения нефти использовали установку для ее разгонки — АРН-2.

Разделению подвергали сырую нефть массой 100 грамм. Нагрев колбы осуществляли плавно до температуры 220°C с выходом на рабочую температуру в течение 30 минут. Первые капли конденсата легких фракций выпадали при 50°C, смесь выдерживали при температуре 220°C пока не упадет последняя капля дистиллята. После чего дистиллят взвешивали на электронных весах и определяли процент выхода светлых фракций разделения без введения катализатора.

Методика процесса разделения нефти с использованием структуры матрицы в целом повторяла методику разгонки нефти без их введения. Количество структур матриц, добавляемых в смолу составляло 0,1 г. Все разделения проводились при одинаковых условиях на одном аппаратном обеспечении для точной оценки их эффективности относительно друг друга.

Результаты процесса разделения нефти представлены в таблице 3.

В результате процессов разделения сырой нефти получены легкие фракции, состав которых анализировался методом газовой хроматографии. Результаты обработаны

на аппаратно-программном комплексе «Хроматэк-Кристалл» на базе газового хроматографа «Хроматэк-Кристалл 5000» с применением программного обеспечения «Хроматэк Gasoline» (контроль состава бензиновой фракции).

Хроматограммы позволяют определить индивидуальный компонентный состав легких фракций, полученных при разделении сырой нефти, а также рассчитать такие нормативные показатели как октановое число (как по исследовательскому, так и по моторному методам) и давление насыщенных паров.

Полученные результаты последовательных экспериментов обрабатывали по методу наименьших квадратов и заносили в таблицу экспериментальных данных. Результаты расчетов на детонационную стойкость бензиновых фракций, полученных при разделении нефти по каждому из четырех вариантов, представлены в таблицах 4–5.

Давление насыщенных паров бензиновых фракций, полученных при разделении нефти по каждому из четырех вариантов, представлены в таблице 6.

Легкие фракции, полученные при разделении нефти с введением структуры матрицы № 3, имеют лучшие нормативные показатели: октановое число по моторному и исследовательскому методам соответственно равно 81 и 65 единиц, давление насыщенных паров — 61 кПа.

Таблица 3. Выход светлых фракций в зависимости от структуры матрицы

| Вид воздействия | Выход легких фракций, % | | | |
|--------------------------------------|-------------------------|------|------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | Среднее |
| Разделение без введения катализатора | 14,7 | 14,9 | 15,4 | 15 |
| Структура матрицы № 1 | 25 | 25,7 | 25,2 | 25,3 |
| Структура матрицы № 2 | 25,1 | 26,3 | 26 | 25,8 |
| Структура матрицы № 3 | 28,1 | 27,7 | 28,5 | 28,1 |

Таблица 4. Октановое число углеводородных фракций, полученных при разделении нефти без введения катализатора

| Группа | Октановое число | |
|----------------------|--|----------------|
| | Разделение нефти без введения катализатора | |
| | Исследовательский метод | Моторный метод |
| Парафины | 0,433 | 1,076 |
| Изопарафины | 2,064 | 2,461 |
| Ароматика | 3,571 | 4,872 |
| Нафтенy | 1,663 | 1,894 |
| Олефины | 2,092 | 3,991 |
| Оксигенаты | 0,002 | 0,002 |
| Неидентифицированные | 20,985 | 24,746 |
| * | 16,479 | 17,657 |
| Итого | 47,289 | 56,699 |

Таблица 5. Октановое число углеводородных фракций, полученных при разделении нефти с использованием структур матриц

| Группа | Октановое число | | | | | |
|----------------------|--|----------------|--|----------------|--|----------------|
| | Разделение нефти с введением структуры матрицы № 1 | | Разделение нефти с введением структуры матрицы № 2 | | Разделение нефти с введением структуры матрицы № 3 | |
| | Исследовательский метод | Моторный метод | Исследовательский метод | Моторный метод | Исследовательский метод | Моторный метод |
| Парафины | 0,757 | 1,743 | 0,899 | 1,045 | 0,963 | 1,938 |
| Изопарафины | 3,548 | 2,504 | 3,671 | 2,617 | 3,666 | 2,878 |
| Ароматика | 4,098 | 5,019 | 5,012 | 6,437 | 4,458 | 5,430 |
| Нафтенy | 2,176 | 2,101 | 2,133 | 2,537 | 2,257 | 2,764 |
| Олефины | 4,875 | 5,111 | 5,092 | 5,872 | 4,012 | 3,968 |
| Оксигенаты | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| Неидентифицированные | 27,944 | 33,647 | 29,463 | 34,785 | 31,076 | 39,876 |
| * | 14,657 | 21,663 | 16,719 | 21,509 | 18,678 | 24,749 |
| Итого | 58,057 | 71,79 | 62,991 | 74,804 | 65,111 | 81,606 |

Таблица 6. Давление насыщенных паров углеводородных фракций

| Вид воздействия | Давление насыщенных паров, кПа | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|----|----|---------|
| | 1 | 2 | 3 | Среднее |
| Разделение без введения катализатора | 83 | 85 | 82 | 83 |
| Структура матрицы № 1 | 64 | 64 | 65 | 64 |
| Структура матрицы № 2 | 62 | 67 | 69 | 69 |
| Структура матрицы № 3 | 60 | 62 | 61 | 61 |

Также увеличился выход светлых нефтепродуктов с 15% без введения катализатора до 28% при разделении нефти с использованием структуры матрицы № 3.

Полученные экспериментальные данные свидетель-

ствуют о целесообразности применения матричных структур при проведении процесса первичной перегонки нефти с целью получения прямогонного бензина с высокими нормативными характеристиками.

Литература:

1. Леонтьева А.И. Получение дизельного топлива из печного топлива с использованием нанокатализаторов и матриц разборки и сборки (наноструктуры) / Леонтьева А.И., Орехов В.С., Выжанов А.В.// Ползуновский вестник «Исследования и достижения в области теоретической и прикладной химии». Выпуск 2: Барнаул 2012. — с. 292–294.

Систематизация дефектов ювелирных сплавов и их влияния на показатели надежности и безопасности

Григоренко Инна Васильевна, старший преподаватель, соискатель ученой степени
Национальный университет пищевых технологий (г. Киев, Украина)

Золото давно является объектом научных исследований и относится к числу металлов, свойства которых изучены достаточно глубоко. В общем оно моноизотопно и в нормальных условиях инертно по отношению к большинству органических и неорганических веществ. Другое дело золотосодержащие сплавы, используемые для производства ювелирных изделий.

Сегодня изделия могут изготавливаться из более 300 сплавов на основе золота, большинство из которых создавались не на основании научных разработок, а путем опробования различных составов. В связи с этим лишь около 20% сплавов обладают достаточным уровнем технологичности.

Целью данной работы является изучение и систематизация дефектов материала ювелирных изделий на основе сплавов золота, влияющие на показатели прочности, надежности и дефектности готовой продукции.

Научная заинтересованность ученых Richard V. Carrano, Mark B. Mann, Cristopher W. Corti и других направлена на изучение преимущественно влияния химического состава золотосодержащих сплавов на безопасность готовой продукции.

Последние научные исследования подтверждают вредное воздействие таких металлов как кадмий, цинк, индий на организм человека. Поэтому Европейское сообщество работает в направлении разработки общего законодательства по ограничению использования в драгоценных сплавах указанных выше элементов.

В частности, в Великобритании запрещено производство и продажа ювелирных изделий с содержанием никеля $\geq 0,01\%$ для стержней серег, а также для других изделий, контактирующих с кожей. Швеция, Германия ввели жесткие ограничения по городу никеля в ювелирных сплавах с середины 90-х годов прошлого века.

В общем, с января 2000 года во всех странах Евросоюза принята так называемая «Никелевая директива», которая ограничивает использование никеля в производстве ювелирных изделий.

Другое направление исследований, также развивают европейцы, в частности специалисты итальянской кам-

пании-производителя лигатурных примесей ProGold — это повышение технологичности и износостойкости ювелирных сплавов и изделий из них последние исследования. Обнародованные в профессиональных изданиях данные, указывают на возможность введения в состав сплавов Ga, Co, Zn, In, Re в качестве составляющих, которые значительно повышают технологичность готовых сплавов.

Таким образом, нами очерчены главные показатели, которые обеспечивают качество готовых ювелирных изделий: технологичность, надежность, безопасность. Формируются указанные показатели под прямым влиянием комплекса химических и физико-механических свойств сплавов. Их взаимосвязь приведена на рисунке 1.

Кроме того, нами были проанализированы значительное количество дефектов материалов ювелирных изделий по стадиям их образования и влиянием на показатели надежности, безопасности и технологичности.

Всего нами проанализирован характер более ста указанных выше дефектов. Как оказалось, наибольшее количество дефектов, которые не поддаются исправлению, образуются именно во время операции литья.

Литье по выплавляемым моделям применяется на большинстве ювелирных предприятий Украины. Во время данной операции регистрируется 10–20% брака, поэтому стоит более подробно остановиться на характеристике дефектов, сопровождающих данный технологический этап.

Значительный процент дефектов литья они занимают пористости, которые появляются в результате усадки и газовых образований. Форма пористости весьма разнообразна: от мелких сферических полостей при газовой пористости в древовидных дендритов при усадочных.

Виды брака после монтирования ювелирных изделий не менее разнообразны и нередко встречаются в изделиях, находящихся в реализации. Среди них: несовпадение с заданным размером, времени и непроая в местах пайки соединений, нарушение симметричности изделия при сборке, несовпадение цвета припоя с основным цветом изделия, непарность парных изделий, недостаточная плотность неразъемных подвижных соединений, люфт при работе за-

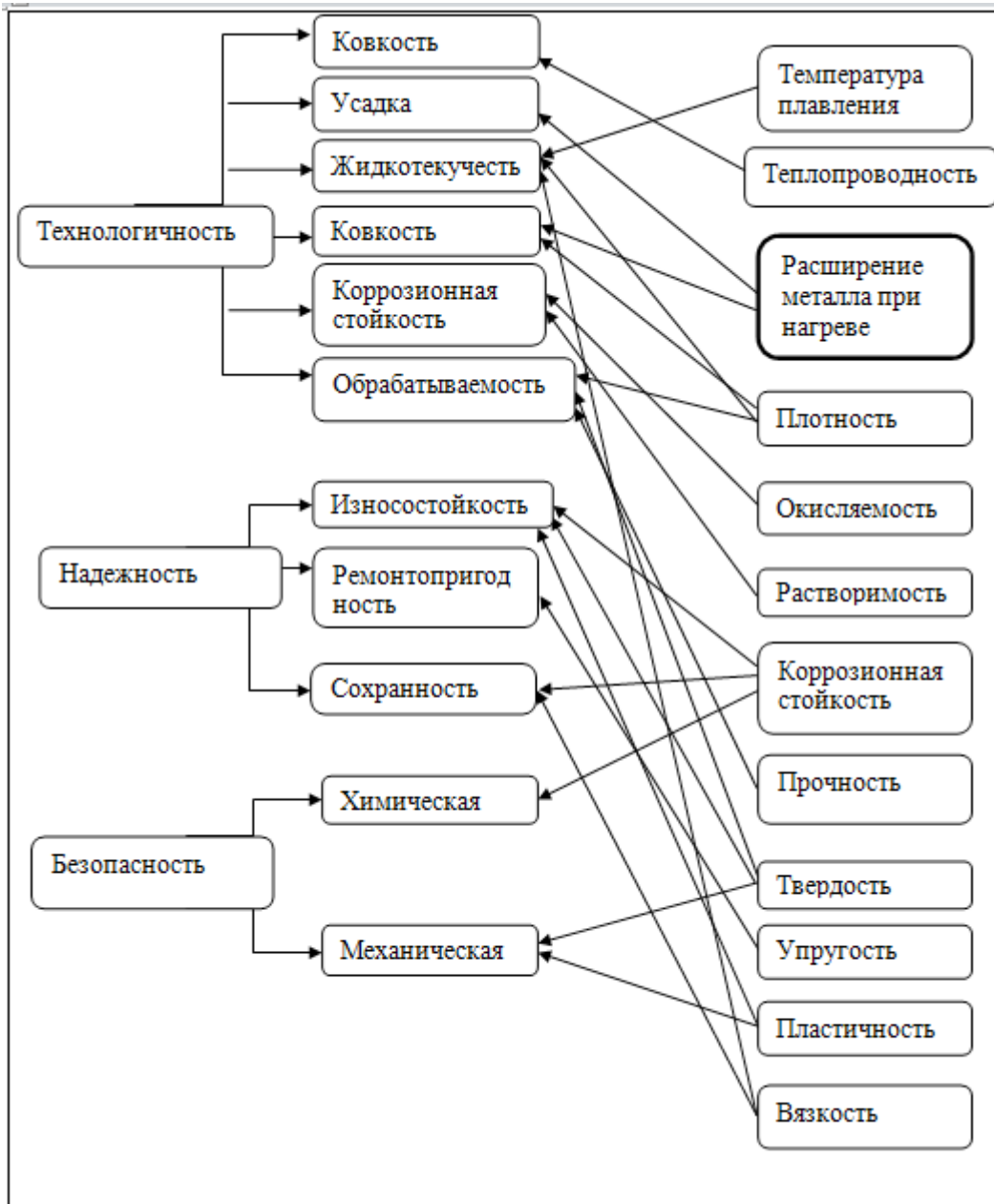


Рис. 1. Взаимосвязь натуральных свойств металла и показателей качества ювелирных изделий

стежек механизмов, недостаточная чистота обработки изделий.

К решению вопросов не только усовершенствование производства, но и объективной оценки и экспертизы качества ювелирных изделий сегодня в Украине только приступили. Процедура проведения оценки в рамках экспертизы ювелирных изделий представляет последовательность операций, осуществляемых экспертами, начиная от получения задания к составлению и передаче экспертного заключения заказчику. Как правило, она осуществляется по заявкам предприятий-получателей, предприятий торговли на отбракованные при реализации изделия, потребителей, купивших изделия с дефектами, по заявкам судебно-следственных органов, таможенных учреждений, потребителей для принятия решений о даль-

нейшем их использовании, банков для предоставление кредитов под залог и т. д..

Некоторые авторы считают, что технические показатели характеризуют, прежде всего, стабильность технологического процесса, а не их потребительские свойства и потребительскую ценность. Однако потребительская ценность современных ювелирных изделий определяется, кроме важных эстетических показателей, еще и показателями качества, в частности пробой, содержанием основных компонентов и примесей, качеством финишной обработки, обеспечивающих жесткость, прочность, плотность сплава, потускнения в процессе эксплуатации, безопасность в процессе использования и гарантируются соответствующим НД и ТД на ювелирные сплавы.

Таблица 1. Дефекты материалов ювелирных изделий по стадиям их образования

| Технологическая операция | Название дефекта | Показатель | Физико-механические, химические свойства |
|--------------------------|--|---|--|
| Восковка | Деформация геометрической формы, засорения восковых моделей, местная усадка, недолив, пузыри, вспучивания, волнистая поверхность, облой, шершавость поверхности трещины восковой модели, повреждения восковой модели режущими инструментами, раковины, изменение геометрии восковки после изменения размера | Технологичность | Расширение металла при нагреве Окисляемость Коррозионная стойкость |
| Литье | Несоответствие химического состава металла, газовая пористость, шлаковые включения, раковины правильной формы с блестящей поверхностью, усадочная пористость, раковины неправильной формы, грубая поверхность отливки, локальное скопление раковин правильной формы различных размеров, корольки, пригар, зернистая поверхность, недоливы, ребра, деформация отливки, пузыри, загрязнения, трещины, спай отливки, разрушение формы в опоке | Технологичность Безопасность Надежность | Температура плавления Теплопроводность Расширение металла на нагреве Плотность Окисляемость Растворимость Коррозионная стойкость |
| Монтировка | Оплавления изделия при пайке, изменение геометрии и формы заготовки, некачественная шабровка, раковины шва пайки, непропай, демонтировка, трещины, недоработки каста, искажение геометрии при пайке, некачественное штифтование | Технологичность Надежность | Температура плавления Теплопроводность Прочность Твердость Упругость Пластичность Вязкость |
| Шлифовка, полировка | Срез крапанов, некачественное штифтование (грубая поверхность), зашлифование элемента зашлифовка, уничтожения клейма, вырывание вставки, излом (разрыв) изделия, механические повреждения (царапины), деформация изделия | Технологичность | Прочность Твердость Упругость Пластичность |
| Клеймение | трещины клеймения, деформация изделия при клеймении, изменение геометрии при натирании, не пробное изделие | Безопасность Надежность | Прочность Твердость Упругость Пластичность |
| Закрепка | Раскалывание вставки, трещины, несоответствие посадочного места вставке, не заправленный крапан, срыв корнер (карпан), недостаточно сформирован элемент крепления, перекося вставки, невыдержанный уровень горизонта вставок, повреждения изделий режущим инструментом, деформация изделия, облой после закрепки вставок, раз крепкая, неверно подобранный цвет цветных вставок | Безопасность Надежность | Прочность Твердость Упругость Пластичность |

Состав драгоценных сплавов, применяется для изготовления современных ювелирных изделий, включая пробу драгоценного металла, а также допустимые леги-

рующие компоненты и примеси, регламентируется межгосударственным стандартом. Регламентированная номенклатура показателей качества драгоценного металла

определена в пределах предельных показателей пробы, содержания основных компонентов и примесей. Поэтому, использование нестандартных сплавов необходимо рассматривать, прежде всего, в правовом и потребительском аспектах.

Анализ НТД свидетельствует, что стандарты и технические условия на полуфабрикат ювелирной продукции не содержат требований к механическим и технологическим характеристикам драгоценного металла. Между тем, эти данные необходимы как для решения ряда технологиче-

ских вопросов по обработке драгоценных сплавов. Справочных данных для решения этих задач явно не достаточно, так как характеристики сплавов зависят от особенностей технологии их производства. Кроме того, в связи с расширением различных видов экспертиз в экспертном деятельности, в том числе и для прогнозирования оценочной стоимости, разработка рациональной методики оценки и контроля состояния материалов ювелирных изделий очень актуальна.

Литература:

1. ГОСТ 24886–81 «Промышленные товары народного потребления. Выбор номенклатуры, потребительских свойств и показателей качества. Основные положения».
2. Артюх Т. М. Товароведная экспертиза ювелирных драгоценностей. Теория и практика: Монография. — М.: КНТЭУ, 2005. — 303 с.
3. Методика оценки изделий из драгоценных металлов с драгоценными, полудрагоценными и поделочными камнями, изделий без камней, часов в золотых и серебряных корпусах. //Приложение к наказу Министерства торговли РСФСР от 18.11.87 г. № 250.

Конечно-элементное моделирование процесса раскатки фланца на трубчатой заготовке

Кононов Павел Васильевич, аспирант;
Востров Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Методом конечных элементов исследуются напряженное и деформированное состояния трубчатой заготовки в процессе раскатки фланца.

1. Постановка задачи исследования

Детали с фланцами [1, 2], значительно удаленными от торца, находят широкое применение в машиностроении. Технология раскатки фланцев на образующем участке заготовки, описанная в [3, 4], расширяет технологические возможности процессов объемного формообразования фланцев: поперечно-клиновой прокаткой, выдавливанием, торцовой раскаткой и др. Формообразование фланца выполняют в два этапа. В исходном состоянии заготовка под раскатку имеет вид в формате 3D, представленный на рис. 1.

На первом этапе осуществляют ротационную высадку заготовки и формируют на ее деформируемой части усеченный конус. На втором этапе раскатывают усеченный конус, и заготовка приобретает требуемую форму детали с фланцем (рис. 2).

Целью данной работы является разработка математической модели раскатывания фланца на образующем участке трубчатой заготовки на основе метода конечных элементов.

В качестве материала трубчатой заготовки был выбран сплав Л63 (химический состав: Cu — 62÷65%, Fe — 0,2%, Pb — 0,07%, Sb — 0,005%, Bi — 0,002%, P — 0,01%, примеси — 0,5%, Zn — остальное).

2. Конечно-элементная реализация расчета процесса ротационного формообразования деталей с фланцем

Задача упруго-пластичности является существенно нелинейной, поскольку, глобальная матрица жесткости зависит от матрицы связи деформаций и перемещений [D], а матрица [D] зависит от текущего напряженно-деформированного состояния заготовки, поэтому выполнить полно-

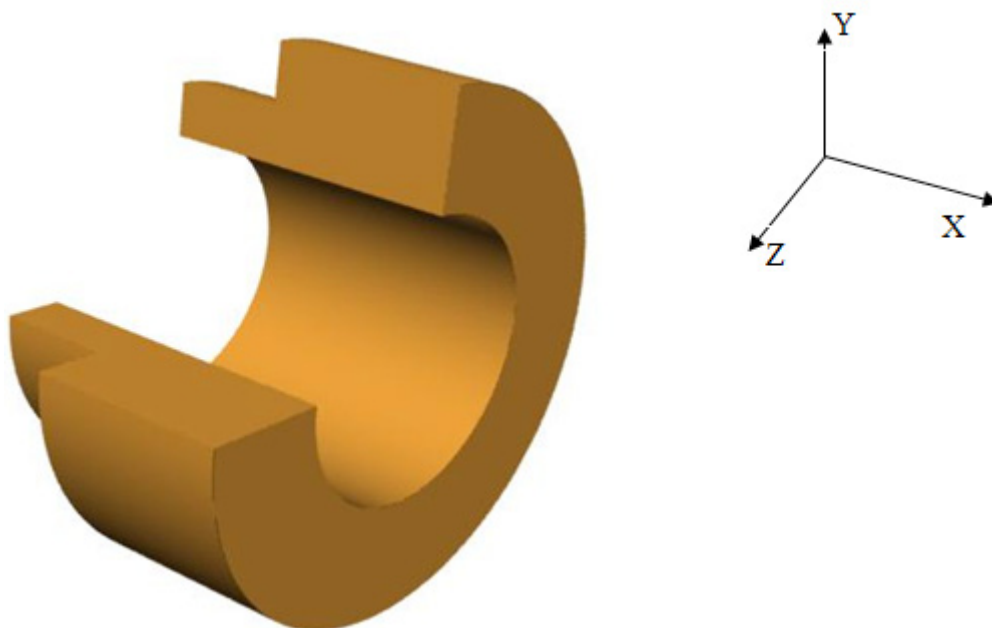


Рис. 1. Заготовка под раскатку детали с фланцем

ценный параметрический расчет процессов ротационного формообразования деталей не представляется возможным в среде стандартной поставки конечно-элементных пакетов типа NASTRA, ANSYS [5]. Однако, создание внешних программ, формирующих всю необходимую информацию в параметрическом виде, использование LS-DYNA как решателя и ANSYS в качестве постпроцессора обеспечивает возможность решения данных задач. В лаборатории «Вычислительная механика» кафедры «Механика и процессы управления» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета создан программно-аппаратный комплекс на основе ANSYS и LS-DYNA [6]. Программа адаптирована для расчета процесса ротационного формообразования деталей с фланцем.

3. Результаты расчета деформаций и напряжений в раскатанной заготовке

Напряженное и деформированное состояния заготовки на этапе формообразования фланца в сечении $Z = 0$ представлены на рис. 3. Графики распределения деформаций и напряжений в сечении $Z = 0$ для данной расчетной схемы приведены на рис. 4 и 5.

Выводы

На основании предложенной конечно-элементной математической модели и выполненных параметрических расчетов процесса холодной раскатки деталей с фланцем

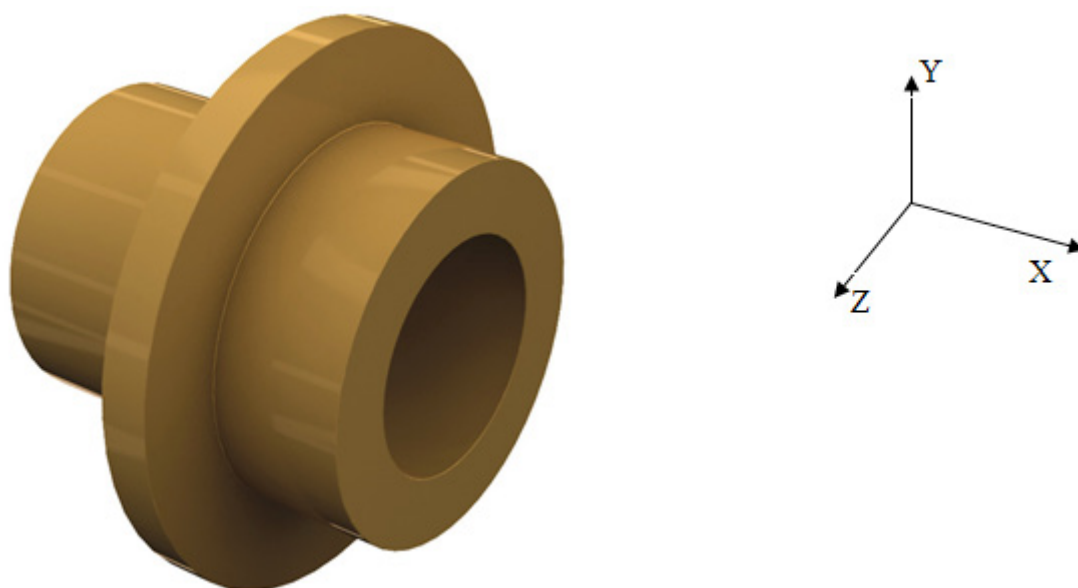


Рис. 2. Раскатная деталь с фланцем

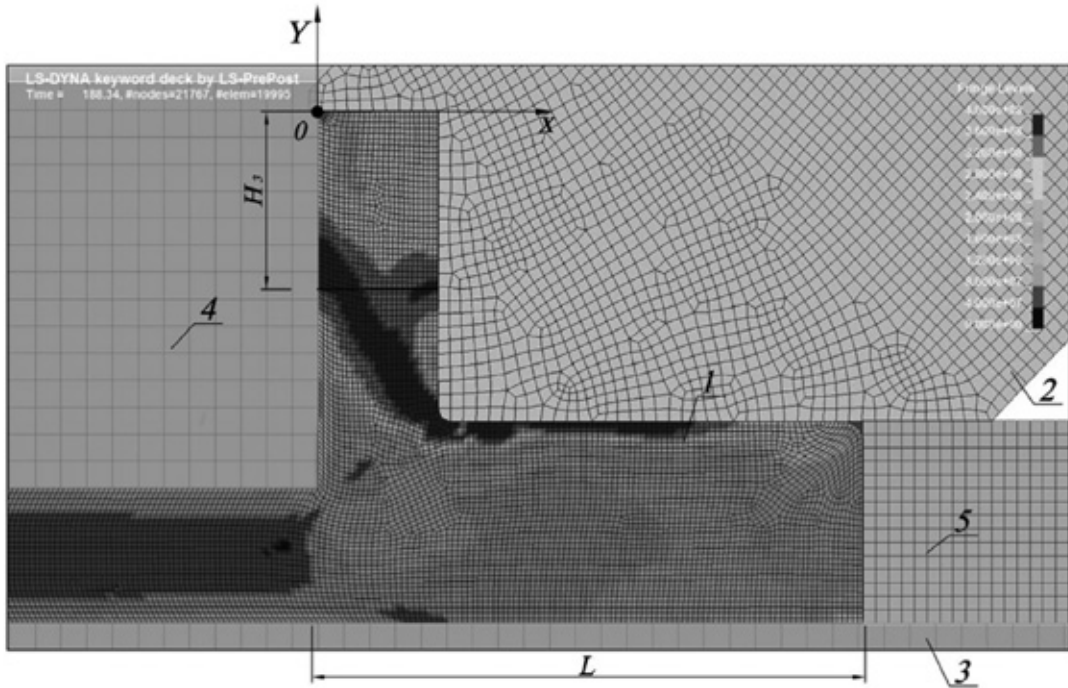


Рис. 3. Напряженное и деформированное состояния заготовки из сплава ЛБ3 на этапе формообразования фланца: 1 — заготовка; 2 — раскатной ролик; 3 — ось; 4 — матрица

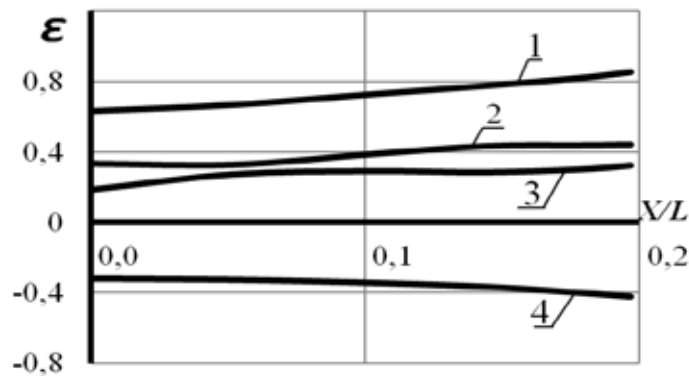


Рис. 4. Графики распределения логарифмических деформаций по оси X на этапе формообразования фланца. Положение начала координат (точка 0) показана на рис. 2. 1) ϵ_i — интенсивность деформаций; 2) ϵ_{yy} — деформации по оси Y; 3) ϵ_{zz} — деформации по оси Z; 4) ϵ_{xx} — деформации по оси X

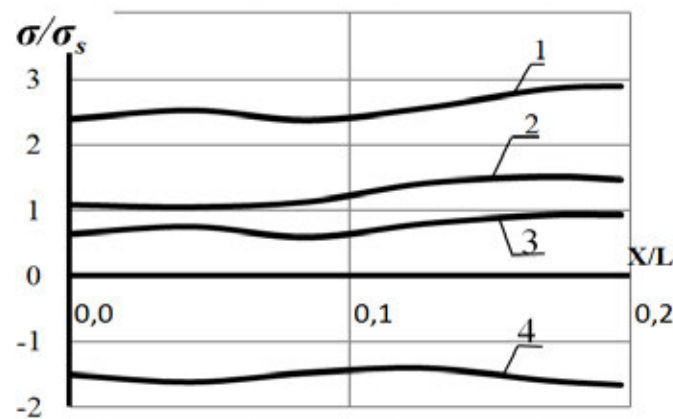


Рис. 5. График распределения напряжений по оси X на этапе формообразования фланца. Положение начала координат (точка 0) показана на рис. 8. 1) σ_i — интенсивность напряжений; 2) σ_{yy} — нормальные напряжения по оси Y; 3) σ_{zz} — нормальные напряжения по оси Z; 4) σ_{xx} — нормальные напряжения по оси X

получена необходимая информация о напряженном и деформированном состоянии заготовок.

Показана эффективность использования конечно-эле-

ментных пакетов программ ANSYS в качестве постпроцессора и LS-DYNA как решателя при решении задач ротационного формообразования.

Литература:

1. Востров В. Н., Яблокова Н. А., Кононов П. В. Исследование остаточных напряжений в раскатанных деталях методом дифракции рентгеновских лучей // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2013. № 166. С. 223–230.
2. Кононов П. В., Востров В. Н. Анализ текстуры заготовок с раскатанным фланцем методом дифракции рентгеновских лучей // Современное машиностроение. Наука и образование. 2013. № 3. С. 852–857.
3. Востров В. Н., Кононов П. В. Устройство для раскатки буртов на трубных заготовках / Патент на полезную модель RUS 116079. 07.12.2011.
4. Кононов П. В., Востров В. Н. Формообразование фланцев деформированием образующей части трубчатых заготовок // Современное машиностроение. Наука и образование. 2012. № 2. С. 391–396.
5. ANSYS Theory Reference. ANSYS inc., Canonsburg, PA, USA. Eleventh edition. ANSYS Release 10.0, 2005. 1286 p.
6. Боровков А. И. Возможности системы конечно-элементного моделирования ANSYS/LS-DYNA // Первая международная конференция пользователей программного обеспечения ANSYSE. М.: EMT-ANSYS-центр, 2003. С. 128–136.

К вопросу о выборе метода многокритериального оценивания компоновок мехатронного модуля в условиях автоматизированного проектирования

Коротков Алексей Васильевич, аспирант
Волгоградский государственный технический университет

В статье рассмотрена проблема выбора компоновок мехатронных модулей на базе бесступенчатых передач.

Ключевые слова: бесступенчатая передача, метод анализа иерархий, автоматизация проектирования.

В настоящее время, актуальным является вопрос создания интегрированных систем автоматизированного проектирования мехатронных модулей на базе бесступенчатых передач. В качестве бесступенчатой передачи для данного устройства можно использовать бесступенчатые импульсные передачи, но при этом возникает вопрос компоновки модуля. Ниже приведена обобщенная структура мехатронного модуля.

Для реализации математической модели выбора параметров составляющих модуль частей необходимо выявить критерии, по которым будет производиться оценивание альтернативных сочетаний импульсного механизма (ИМ), управляющего устройства (УУ) и механизма свободного хода (МСХ), а также соответствующего микропроцессорного устройства (МП) с необходимыми датчиками. Ниже рассмотрим процесс выбора компоновок

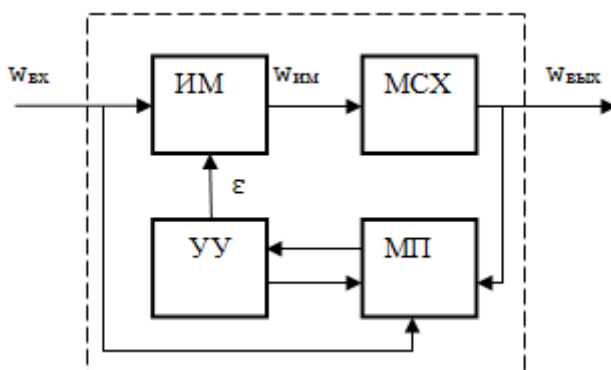


Рис. 1. Структура мехатронного модуля

бесступенчатых импульсных передач, необходимых для построения модуля.

Бесступенчатые импульсные передачи различаются достаточным многообразием типов входящих в них компонентов, в свою очередь определенный тип каждого компонента различается многообразием всевозможных конструкций, имеющих разные силовые показатели и конструктивные особенности.

Для обеспечения процедуры выбора параметров бесступенчатой передачи, определим множество допустимых для рассмотрения типов импульсных механизмов и механизмов свободного хода.

Для импульсных механизмов множество допустимых типов ограничим:

- 1) кривошипно-коромысловый механизм;
- 2) кулисный механизм;
- 3) механизм с качающейся шайбой.

Для механизмов свободного хода множество допустимых типов ограничим:

- 1) роликовый механизм;
- 2) клиновой механизм;
- 3) храповый механизм;
- 4) электрический механизм;
- 5) гидравлический механизм

В результате проведенного анализа были выявлены следующие критерии выбора бесступенчатой передачи:

- 1) диапазон регулирования;
- 2) номинальный крутящий момент на выходном валу;
- 3) конструктивные показатели (габариты);
- 4) показатель экономичного использования энергии (КПД);
- 5) надежность.

На предпочтительность того или иного варианта компоновки модуля, как видно, помимо очевидного условия обеспечения требуемого диапазона регулирования, может влиять целый ряд дополнительных критериев, к которым обычно относятся минимизация габаритов, предпочтительность по стоимости, показатель экономичного использования энергии, номинальный крутящий момент на выходном валу и др. При этом различные альтернативы удовлетворяют каждому из этих условий в разной степени, и увеличение предпочтительности по одному критерию часто ведет к ее уменьшению по другим. Кроме того, степень предпочтительности альтернативы по различным критериям может по-разному влиять на общий уровень ее предпочтительности.

Для построения процедуры синтеза оценок предпочтительности альтернатив необходимо привлечение методов многокритериального анализа, учитывающих данные условия и обладающих свойством устойчивости к неполноте и неопределенности исходной информации. Одним из таких методов является метод анализа иерархий (МАИ), в рамках которого задача оценки предпочтительности альтернатив рассматривается как иерархическая совокупность подзадач оценки предпочтительности по отдельным критериям (возможно неравноценным), и процедура оце-

нивания сводится к синтезу оценок альтернатив по каждому из критериев и оценок относительной важности (приоритетов) критериев, с последующей взвешенной сверткой критериальных оценок в обобщенную оценку предпочтительности. Получаемые оценки измерены в безразмерной шкале отношений и имеют смысл уровней относительной значимости альтернатив в смысле достижения главной цели. [2]

Первым этапом метода анализа иерархий является декомпозиция исходной задачи на более простые составляющие, в результате чего строится иерархия, вершина которой соответствует главной цели, а промежуточные уровни содержат критерии оценки ее достижения. На нижнем уровне находится множество альтернатив, подлежащих оценке. Рассмотрим последовательно процесс моделирования.

Введем предварительно следующие обозначения. Будем представлять исходный набор допустимых для рассмотрения бесступенчатых передач в виде множества.

Механическую бесступенчатую передачу можно представить в виде системы узлов:

$$MVP = \{MPr, MI, Mc\}, \quad (1)$$

где

MVP — механическая бесступенчатая передача, MPr — механизм свободного хода, MI — механизм импульсный, Mc — механизм управляющий.

В свою очередь каждый из этих узлов так же можно представить

$$MPr = \{Tbp, Pbp, Kbp\}, \quad (2)$$

$$MI = \{Tmi, Pmi, Kmi\}, \quad (3)$$

$$Mc = \{Tmc, Pmc, Kmc\}, \quad (4)$$

где

Ti — тип механизма, Pi — параметры механизма, Ki — конструкция механизма.

Для оценки предпочтительности множества X допустимых альтернатив строится иерархия, структура которой приведена на рисунке 2. Главная цель, состоящая в выборе рационального варианта бесступенчатой передачи, детализируется несколькими критериями, характеризующими выделенные ранее условия, влияющие на результат выбора. Помимо критериев $K1, \dots, K5$, иерархия может содержать другие критерии, зависящие от условий конкретной задачи (например, для оценки предпочтительности бесступенчатой передачи может также оказаться необходимым учитывать равномерность вращения выходного вала, ремонтпригодность узлов передачи, возможность монтажа дополнительных компонентов и т. п.). Параметры λ характеризуют степени относительной важности детализирующих критериев по отношению к детализируемому, и для оценки их значений существуют специальные методы, среди которых основным является метод парных сравнений [1]

Классический вариант МАИ предполагает, что информация об оценках альтернатив по каждому критерию представляется в форме экспертных суждений об относительном уровне предпочтительности одной альтер-

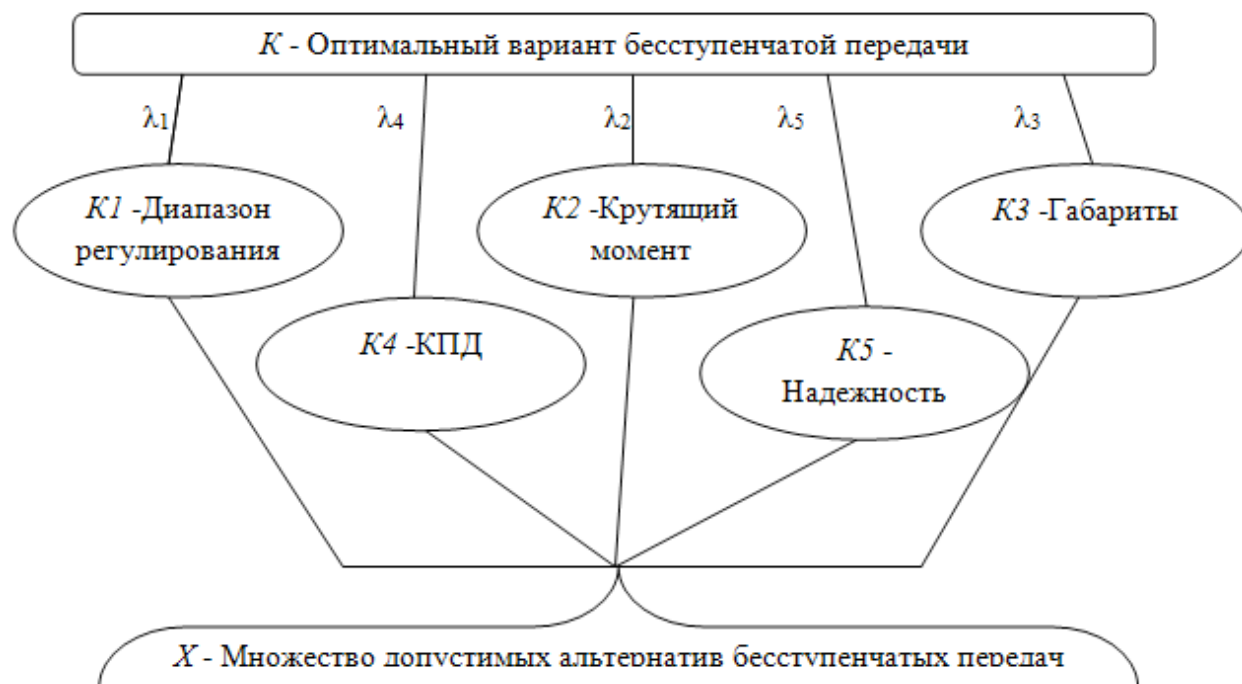


Рис. 2. Иерархическая структура выбора и оценки допустимых альтернатив

нативы над другой в смысле этого критерия. Для перевода этих суждений в безразмерную шкалу используется метод парных сравнений. Вместе с тем, некоторые свойства альтернатив (например, габариты) могут быть выражены в числовом виде (возможно, с нечеткой формой оценок), и перевод их в безразмерную шкалу значительно проще и естественнее осуществлять, используя функцию принадлежности нечеткого множества наиболее предпочтительных значений. Таким образом, в условиях нашей задачи целесообразно рассматривать МАИ в сочетании с методами сравнения нечетких множеств. [4]

В соответствии со структурой иерархии производится

оценка исходных альтернатив по заданным критериям а затем осуществляется синтез, результатом которого является вектор обобщенных оценок предпочтительности альтернатив $x \in X$. Указанные оценки определяются в соответствии с правилом

$$K(x) = \sum_i \lambda_i K_i(x) \quad (5)$$

Полученные значения $K(x)$ упорядочивают допустимые альтернативы по степени их предпочтительности в условиях поставленной задачи выбора оптимальных параметров зажимного устройства.

Литература:

1. Андрейчиков А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения). — М.: Машиностроение, 1998.-476 с: ил.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993.-320 с.
3. Норенков И.П. Разработка систем автоматизированного проектирования. Учебник для вузов.-М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2004.-207 с, ил.
4. Подвесовский А.Г. Автоматизация многокритериального выбора технических решений на основе применения нечетких моделей различных типов: Автореферат дисс. канд. техн. наук: 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. — Брянск: БГТУ, 2001. — 20 с.
5. Пономарев А.С Нечеткие множества в задачах автоматизированного управления и принятия решений. — Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. — 234с, ил.

Математическая модель нагрева волновода при передаче сигналов высокой мощности

Кудрявцев Илья Владимирович, кандидат технических наук, докторант;
Барыкин Евгений Сергеевич, аспирант;
Гоцелюк Ольга Борисовна, аспирант
Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

Рассматривается проблема нагрева волноводов при передаче по ним сигналов повышенной мощности. Предложена расчетная модель нагрева тонкостенной конструкции прямого участка волновода и дифференциальное уравнение его теплового баланса с граничными условиями.

Ключевые слова: космический аппарат, антенно-фидерная система, волновод, сверхвысокочастотный сигнал, потери мощности, скин-слой, нагрев.

Введение. Волноводы относятся к направляющим системам и широко применяются для передачи высокочастотной энергии в радиоэлектронной аппаратуре. В космических аппаратах волноводы являются частью антенно-фидерной системы (АФС) и служат для передачи электромагнитных сигналов сверхвысокой частоты между антеннами и блоками связи.

На различных этапах жизненного цикла, волноводы подвергаются различным внешним силовым, деформационным и температурным воздействиям, носящим как статический, так и динамический характер. Условия статической и динамической прочности волноводов космических аппаратов (КА) связи, а также методика их расчета на все перечисленные внешние воздействия изложены в [1,2].

Возросшие в последнее время требования к функционально-эксплуатационным параметрам космических аппаратов в целом, и их системам связи в частности, привело к необходимости увеличения мощности передаваемого сигнала по антенно-фидерным системам. Наземные испытания волноводно-распределительных систем (ВРС), проведенные в ОАО «Информационные спутниковые системы» им. М. Ф. Решетнева» показали, что при передаче по ним сигналов высокой мощности (порядка нескольких киловатт) происходит существенный нагрев стенок волноводов, которым нельзя пренебречь при расчетах температурных полей и напряжений.

Обзор литературы [3–7] по данной проблеме показал, что все авторы рассмотренных источников только лишь отмечают очень малые потери передаваемых сигналов в волноводах по сравнению с другими типами направляющих систем и как следствие делается вывод об отсутствии необходимости учета выделения тепла. Такая ситуация является допустимой при передаче сигналов относительно небольшой мощности. В настоящее же время большая мощность передаваемого сигнала привела к повышению потерь в волноводе с последующим его нагревом, которым нельзя пренебрегать, что требует дора-

ботки методов температурного и прочностного расчетов его тонкостенной конструкции, изложенных в [1,2].

Ситуация усугубляется тем, что возможности для рассеивания избыточного тепла в условиях открытого космоса весьма ограничены, особенно при негерметичном исполнении космического аппарата, когда все его элементы и системы подвергаются воздействию солнечного излучения, а конвективный обмен практически отсутствует. Все это затрудняет эффективный отвод тепла и требует выполнения тепловых расчетов с учетом всех факторов, включая и нагрев при передаче сигналов по волноводам.

Потери мощности.

Анализ литературных источников [3–7] показал, что в процессе распространения электромагнитной волны по волноводу происходит затухание передаваемого сигнала вследствие рассеивания части его энергии по тонкостенной конструкции. Причин затухания сигнала несколько:

- 1) потери в электропроводящем слое материала на внутренних стенках волновода;
- 2) потери в диэлектрике во внутренней полости волновода;
- 3) потери на излучение из-за неплотного соединения отдельных элементов участка волноводно-распределительной системы и др.

В большинстве встречающихся на практике случаев, преобладающими являются потери в тонком электропроводящем слое на внутренних стенках волновода [3,4].

В волноводе с идеально проводящим материалом электрические силовые линии строго перпендикулярны к стенкам волновода. В реальных волноводах, вследствие наличия сопротивления материала его внутренних стенок, вектор напряженности электрического поля будет наклонен в сторону распространения сигнала, в результате чего у него появляется некоторая малая тангенциальная составляющая [4].

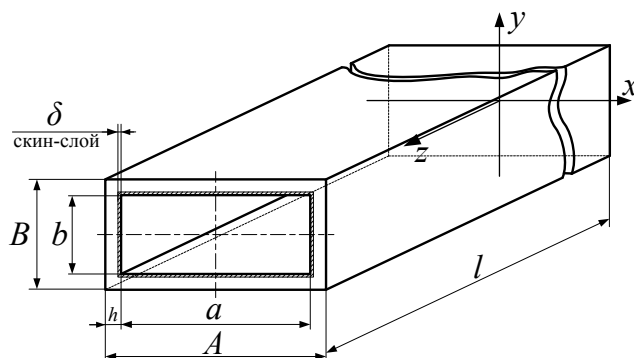


Рис. 1. Прямой элемент волновода

Такое изменение структуры электрических силовых линий неизбежно приводит к изменению и магнитного поля — у внутренних стенок волновода появляется небольшая нормальная составляющая вектора напряженности магнитного поля, которая принимается равной нулю в случае идеального волновода.

Вследствие возникновения такого поверхностного скин-эффекта, токи проходят не по поверхности стенок волновода, а проникают в них на некоторую небольшую глубину скин-слоя δ и, за счет удельного сопротивления материала, преобразуются в тепло, приводя к затуханию сигнала на выходе (рис. 1).

При этом в случае малой мощности передаваемого сигнала, потери мощности относительно невелики и их влиянием на функционально-эксплуатационные и прочностные параметры волновода пренебрегают.

Как известно [3,4], любая составляющая электромагнитного поля вдоль линии волновода (ось z на рис. 1) изменяется по экспоненциальному закону. Поэтому изменение (уменьшение) потока энергии вдоль волновода можно охарактеризовать изменением мощности ΔP передаваемого сигнала по формуле:

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вых} = P_{вх} - P_{вх} e^{-2\alpha l} = P_{вх} (1 - e^{-2\alpha l}) \quad [Вт], \quad (1)$$

- где $P_{вх}$ — мощность на входе волновода, Вт;
- $P_{вых}$ — мощность на выходе волновода, Вт;
- α — коэффициент затухания, Дб/м;
- l — длина волновода, м.

Согласно выражению (1), потери мощности сигнала ΔP в волноводе можно определить с помощью коэффициента затухания α , которым и принято характеризовать степень рассеяния электромагнитной энергии при распространении ее вдоль волновода единичной длины с учетом всех возможных причины этого явления.

Коэффициент потерь.

С помощью некоторых дополнительных упрощений различными авторами [3–7] получены сходные выражения, позволяющие определять величину коэффициента затухания α для различных условий работы волно-

вода. Все эти выражения весьма громоздки и зависят от сочетания многих факторов: вида и размеров волновода, характеристик передаваемой по нему электромагнитной волны, свойств материала стенок волновода, наличия диэлектрика и др.

Например, в наиболее распространенном случае передачи по волноводу прямоугольного поперечного сечения электромагнитной волны типа H_{10} коэффициент затухания α , согласно [3], можно определить по следующей формуле:

$$\alpha = \sqrt{\pi f \mu_a \rho} \cdot \frac{1 + \frac{2b}{a} \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}{bZ \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} \quad [Дб/м], \quad (2)$$

- где π — 3,1415...;
- f — частота передаваемого сигнала, кГц;
- μ_a — абсолютная магнитная проницаемость среды, Гн/м;
- ρ — удельное сопротивление слоя материала внутренних стенок волновода, в котором наводится ток, Ом*мм²/м;
- a — ширина ($a > b$) внутренней полости волновода, см;
- b — высота ($a > b$) внутренней полости волновода, см;
- λ — длина волны передаваемого сигнала, см;
- Z — волновое сопротивление среды распространения сигнала, Ом.

По полученному выражению (2) построены универсальные диаграммы для определения коэффициентов затухания при различных сочетаниях исходных данных. Например, на рис. 2 приведена диаграмма из [3] для определения коэффициента затухания в прямоугольном медном волноводе, заполненном диэлектриком без потерь.

При этом, как указывают авторы [3,4], действительные значения коэффициента затухания будут больше расчетных (2) на 10÷30% вследствие неучтенных потерь: неплотности соединений, переходное сопротивление, лаковые покрытия и др.

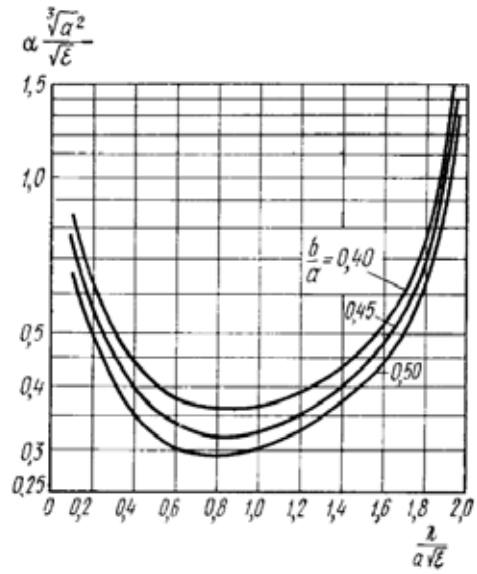


Рис. 2. Диаграмма для определения коэффициента затухания в прямоугольном волноводе [3]

Модель нагрева волновода. Процесс нагрева волновода можно разбить на 2 этапа:

Этап I: Джоулево тепло. Источником нагрева волновода является тонкий скин-слой (рис. 1) на его внутренних стенках, который во много раз меньше толщины этих стенок. Толщину скин-слоя δ [мм] можно определить по формуле [1]:

$$\delta = \frac{100}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}}, \tag{3}$$

где ρ — удельное сопротивление материала волновода, Ом*мм²/м;
 f — частота передаваемого сигнала, кГц;
 μ — относительная магнитная проницаемость среды.

Для большинства применяемых для волноводов материалов толщины скин-слоя весьма малы, имеют близкие значения и несущественно изменяются (рис. 3) во всем

СВЧ-диапазоне (3–30 ГГц).

В течение малого промежутка времени будет происходить интенсивный нагрев тонкого скин-слоя за счет протекания в нем наведенных токов от передаваемого сигнала. При этом будем считать что все изменение мощности ΔP передаваемого по волноводу сигнала будет преобразовываться в тепловую энергию. Данный процесс можно считать адиабатическим и его расчет можно проводить на основании закона Джоуля-Ленца [8], согласно которому:

$$I^2 R dt = CM dT, \tag{4}$$

или с учетом (6)

$$\Delta P dt = CM dT, \tag{5}$$

в итоге

$$dT = \frac{\Delta P(t) dt}{CM} = \frac{(1 - e^{-2\alpha t}) P_{ex}(t) dt}{CM}, \tag{6}$$

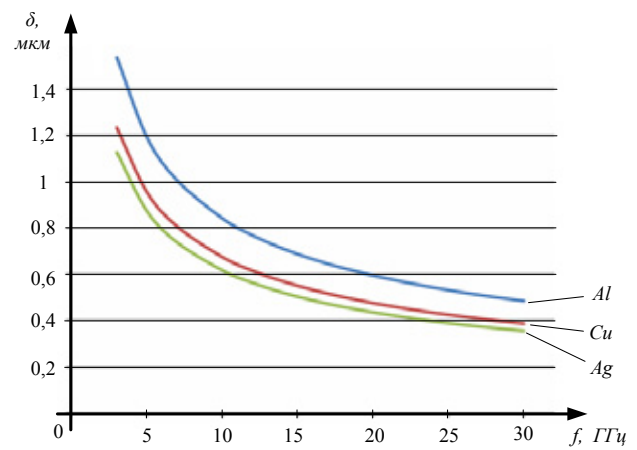


Рис. 3. Значение толщины скин-слоя в зависимости от материала и частоты СВЧ-сигнала

где T — температура нагрева;
 t — время нагрева;
 C — удельная теплоемкость;
 M — масса тела, в котором выделяется мощность P_{ex} .

Уравнение (6) получено для случая подводимой мощности P_{ex} , произвольно изменяющейся во времени t , что соответствует переменному сигналу. Если подводимую мощность усреднить и принять постоянной во времени (эффективная мощность $P_{эфф.}$), то выражение (6) примет вид:

$$\Delta T = \frac{(1 - e^{-2at})P_{эфф.}\Delta t}{CM}, \quad (7)$$

где ΔT и Δt — конечные изменения температуры и времени.

Полученные выражения (6) и (7) определяют линейную зависимость нагрева скин-слоя от времени и подводимой мощности.

Этап II: Уравнение теплопроводности. По мере прогрева стенок волновода, на его температурное поле начнет влиять теплообмен с окружающей средой, поэтому этот процесс уже нельзя считать адиабатическим.

Разность температуры внутренних и наружных стенок приведет к возникновению теплового потока по всей толщине стенки волновода [8]:

$$\vec{q} = -\vec{n} \cdot \frac{dQ}{dt} \cdot \frac{1}{S}, \quad (8)$$

где \vec{n} — единичный вектор нормали к поверхности S в сторону увеличения температуры;

$\frac{dQ}{dt}$ — количество тепла, проходящего в единицу времени;

S — площадь изотермической поверхности, м².

Знак «минус» означает, что вектор плотности теплового потока направлен в сторону уменьшения температуры и противоположно вектору нормали \vec{n} .

Плотность теплового потока также можно определить, согласно основному закону теплопроводности Фурье, по формуле:

$$\vec{q} = -\vec{n} \cdot \lambda \frac{\partial T}{\partial n}, \quad (9)$$

где λ — коэффициент теплопроводности, $\frac{Вт}{м \cdot град}$;

$\frac{\partial T}{\partial n}$ — градиент температуры в направлении нормали \vec{n} .

Будем считать, что при передаче электромагнитного сигнала по волноводу происходит равномерный разогрев всех его внутренних поверхностей стенок, которые в результате будут представлять изотермическую поверхность S (рис. 3):

$$S = 2l(a + b). \quad (10)$$

Направление нормали \vec{n} к изотермической поверхности будет перпендикулярно к каждой из стенок волновода (рис. 3). Следовательно, распространение тепла будет происходить только в одном направлении — по нормали \vec{n} в сторону наружных стенок (рис. 4).

Такое заключение позволяет принять для расчета температурного поля волновода одномерную модель распространения тепла вдоль его стенки (рис. 5).

Выделение тепла ΔQ в скин-слое, при прохождении по нему электромагнитного сигнала, в теории теплопроводности можно смоделировать источником тепла интенсивностью $W(t)$, в результате действия которого температура внутренних стенок повысится. Тогда уравнение теплопроводности с источником тепла будет иметь вид [8]:

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial t^2} + \frac{W(t)}{c_1 \gamma_1}, \quad (11)$$

где λ_1 — коэффициент теплопроводности материала скин-слоя, $\frac{Вт}{м \cdot град}$;

γ_1 — плотность материала скин-слоя, $\frac{кг}{м^3}$;

$W(t)$ — интенсивность источника тепла в скин-слое,

$$W(t) = \frac{\Delta P(t)}{V} = \frac{\Delta P(t)}{S \cdot \delta} = \frac{(1 - e^{-2at})P_{ex}(t)}{S \cdot \delta} [Вт/м^3];$$

a — коэффициент температуропроводности материала стенок волновода, определяется по формуле:

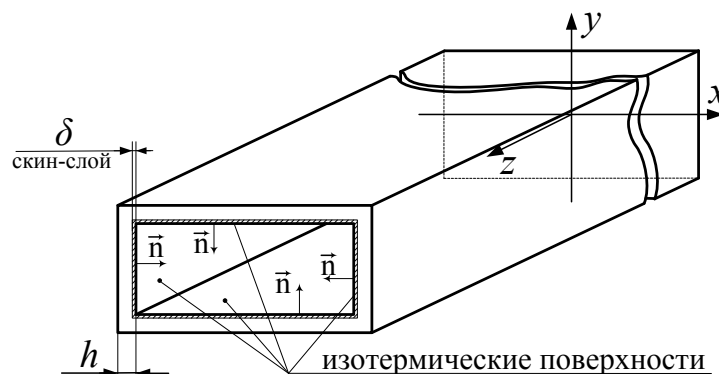


Рис. 4. Направление нормалей к изотермическим поверхностям элемента волновода

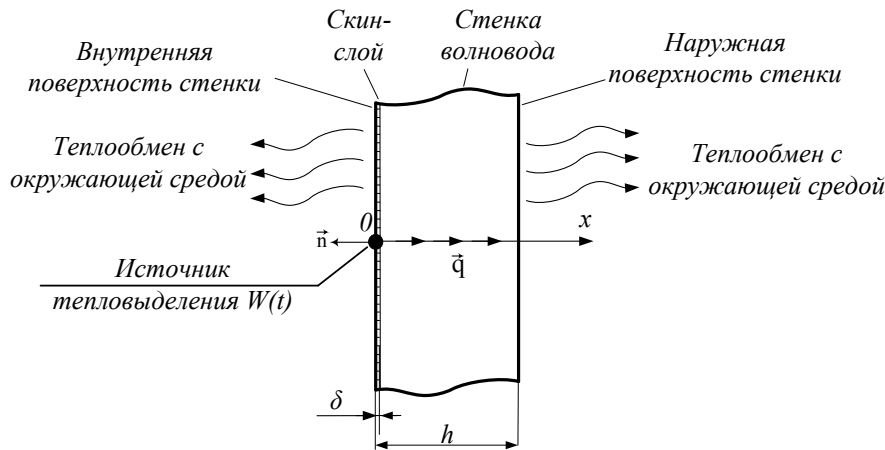


Рис. 5. Расчетная схема нагрева элемента стенки волновода

$$a = \frac{\lambda_2}{c_2 \gamma_2} \left[\frac{i^2}{\tilde{n}} \right]$$

в которой

λ_2 — коэффициент теплопроводности материала стенок, $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}}$;

c_2 — удельная теплоемкость материала стенок, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$;

γ_2 — плотность материала стенок, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Начальным условием примем однородное температурное поле, которое для одномерной модели запишется как равенство температуры некоторой заданной величине в точках с любой координатой x в начальный момент времени $t=0$:

$$T(x, t = 0) = T_0 = \text{const} . \tag{12}$$

Граничные условия задаются на границах рассматриваемой области тела, в рассматриваемом случае ими будут являться внутренняя и наружная поверхности стенки волновода (рис. 4), на которых будет происходить конвективный теплообмен с окружающей средой, имеющей температуру $T_{\text{окр}}$.

Для внутренней поверхности стенки ($x = 0$) граничным условием будет являться теплообмен (конвекцией и лучистым излучением) с окружающей средой, что можно записать как:

$$-\frac{\partial T_1(x=0, t)}{\partial x} + \alpha_1 [T_{\text{окр}} - T(x=0, t)] = 0, \tag{13}$$

Второе граничное условие определяет условия теплообмена (конвекция и лучистое излучение) наружных стенок волновода ($x = h$) с окружающей средой:

$$-\frac{\partial T_2(x=h, t)}{\partial x} + \alpha_2 [T_{\text{окр}} - T(x=h, t)] = 0. \tag{14}$$

Граничные условия (13, 14) будут соответствовать работе волновода в среде газа (воздуха), то есть на Земле. Условия эксплуатации волноводов в составе космического аппарата связи, имеющего открытую платформу, предполагают, что они будут функционировать на орбите в среде вакуума, в котором какая-либо конвекция отсутствует, а преобладающим способом переноса и рассеивания энергии (тепла) с волноводов будет являться лучистый теплообмен. В этом случае вместо условий конвекции (13, 14) на поверхности стенок волновода необходимо задать условие лучистого теплообмена, согласно закона Стефана-Больцмана, которое имеет вид заданного теплового потока:

$$q(t) = \sigma [T_{\text{стенка}}^4 - T_{\text{воспр.}}^4] = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_n, \tag{15}$$

где σ — приведенный коэффициент лучеиспускания [$\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{C}^0$];

$T_{\text{стенка}}$ — температура наружной поверхности стенки волновода, от которой передается лучистая энергия;

$T_{\text{воспр.}}$ — температура поверхности, которая воспринимает лучистую энергию.

Полученное дифференциальное уравнение задачи (11) с заданными граничными и начальным условиями довольно просто можно решить как известными аналитическими методами (метод разделения переменных, метод источников и др.), так и численными (метод конечных разностей, метод конечных элементов и др.).

Решение задачи (11–15) позволяет определить стационарное температурное поле прямолинейного участка волновода для любых встречающихся на практике его размеров, у которых известен коэффициент затухания α . Тепловой расчет волноводов с криволинейной продольной осью затруднен, прежде всего, сложностью выбора значений коэффициентов затухания α , поскольку для этих случаев его значения в известной литературе [4–7] не приводятся.

Результаты расчета.

Согласно разработанной модели и полученным уравнениям (11–15) проведены предварительные расчеты тем-

пературного поля для прямых участков волноводов с различным типоразмером поперечного сечения (5,5x11, 9x18, 35x15, 25x58 мм) и толщиной стенки (0,6–1,2 мм). Решение выполнялось аналитически методом разделения переменных и численным методом конечных элементов в ППП Ansys. Изучалось время нагрева скин-слоя и установления стационарного температурного поля стенок волновода в двух вариантах: при наличии конвекции (работа волновода в атмосфере Земли), и без нее (работа волновода в вакууме).

Результаты расчетов показывают, что из-за малой толщины скин-слоя (0,5–1,5 мкм), время его нагрева при постоянной подводимой мощности $P_{вх}$ очень мало, поэтому первым этапом адиабатического нагрева скин-слоя волновода можно пренебречь.

Время установления второго этапа нагрева волновода, при котором образуется стационарное температурное поле, определяемое уравнением (11) с ГУ (13–15), вследствие малой толщины стенки (0,6–1 мм) волновода, высокой теплопроводности и низкой удельной теплоемкости их материала (алюминий) составляет несколько се-

кунд. Это означает, что даже при кратковременных сигналах высокой мощности может происходить ощутимый нагрев волноводов.

Заключение

Разработана математическая модель нагрева волновода и получено разрешающее дифференциальное уравнение задачи с начальными и граничными условиями, соответствующие условиям работы ВРС на Земле и в открытом космосе.

Предварительные расчеты показали, что скорость нагрева стенок и волновода в целом весьма высокая, что даже при кратковременном сигнале приводит к повышению его температуры. В условиях космоса, из-за отсутствия конвекции, эффективный отвод тепла будет происходить прежде всего за счет теплопроводности материала через фланцы крепления волновода к блокам АФС, а также между промежуточными опорами и сотопанелями.

Выделение дополнительного тепла при передаче сигналов большой мощности требует уточнения методов теплового расчета волноводов и учета его влияния на условия статической и динамической прочности.

Литература:

1. Сильченко П. Н. Методика расчёта напряжённо-деформационного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов / П. Н. Сильченко, И. В. Кудрявцев, М. М. Михнёв, В. Н. Наговицин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2012 г. № 2. С 150–161.
2. Сильченко П. Н. Анализ динамического состояния волноводно-распределительных систем от воздействия вибрационных нагрузок на этапе вывода космического аппарата на орбиту / П. Н. Сильченко, И. В. Кудрявцев, М. М. Михнёв, В. И. Халиманович, В. Н. Наговицин // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2012 г. № 2. С. 205–219.
3. Ефимов И. Е. Волновые линии передачи. — М.: Связь, 1979—232 с.
4. Воскресенский Д. И. и др. Устройства СВЧ и антенны. 2006. — 378 с.
5. Левин Л. Теория волноводов — М.: Радио и связь. 1981 г. — 312 с.
6. Кинг Р. Передающие линии, антенны, волноводы. 2012 г. — 360 с.
7. Котельников И. А. О затухании в волноводе // Журнал технической физики, 2004, т.74, вып.9, с. 91–96.
8. Карташов Э. М. Аналитическая теория теплопроводности и прикладной термоупругости. 2012 г. — 656 с.

Перспективы создания растительных масел функционального назначения

Лукин Александр Анатольевич, преподаватель

Южно-Уральский государственный университет (НИУ) (г. Челябинск), Институт экономики, торговли и технологий

Пирожинский Сергей Геннадьевич, соискатель ученой степени

Южно-Уральский государственный университет (НИУ) (г. Челябинск)

Современные технологии получения и переработки масел и жиров базируются на результатах научно-технических исследований, которые проводятся по двум ключевым направлениям:

1. Исследования химического состава и медико-биологических свойств некоторых малоизученных жирных кислот или компонентов неомыляемых фракций растительных масел (терпенов, токотриенолов, фитостеринов

и других изопреноидов), которые в перспективе могут быть использованы в качестве физиологически функциональных ингредиентов в продуктах здорового питания.

2. Создание жиров и масел определенного состава с заданными свойствами (дизайн липидов):

Необходимость модификации состава масел вызвана тем, что ни одно из известных пищевых масел не отвечает современным представлениям об идеальном жире:

— природные жиры и масла не имеют сбалансированного жирнокислотного состава, а значит оптимального для пищевого рациона человека соотношения насыщенных, моно- и полиненасыщенных жирных кислот, в том числе кислот, образующих семейства омега-6 и омега-3, а также мононенасыщенных жирных кислот семейства омега-9;

— рафинированные масла, при своих неоспоримых вкусовых достоинствах и высоких потребительских характеристиках, бедны фосфолипидами, витамином Е, фитостеридами, каротиноидами и другими физиологически ценными соединениями; нерафинированные масла содержат указанные микронутриенты, но при этом включают нежелательные сопутствующие вещества, которые снижают пищевую ценность масел или затрудняют их использование в технологиях пищевых продуктов.

Другой причиной, обуславливающей необходимость модификации жирнокислотного состава, является разработка жировых продуктов, не содержащих транс-изомеров жирных кислот, потребление которых является серьезным фактором риска для здоровья человека. Решение этой задачи связано с заменой гидрогенизированных по традиционной технологии жиров, основных источников ТЖК, на натуральные растительные масла, имеющие твердую консистенцию, или их фракции (пальмовое, кокосовое, пальмоядровое), а также с применением таких методов модификации жирнокислотного состава как направленная переэтерификация или гидрогенизация по усовершенствованной технологии с жестким контролем концентрации ТЖК.

С целью направленного изменения состава и свойств жиров и масел в отечественной и зарубежной практике разрабатываются и применяются методы селекции и генной инженерии масличных культур, фракционирование и энзиматическая переэтерификация жиров и масел, смешение (купажирование) масел различных культур, включая нетрадиционные растительные источники [4–5].

Выращивание модифицированных селекционными методами масличных культур без применения приемов генной инженерии. С помощью методов традиционной селекции получены сорта рапса с пониженным содержанием гликозилатов и эруковой кислоты, сорта рапса с повышенным содержанием олеиновой и пальмитиновой кислот, сорта льна с низким содержанием в семенах альфа-линоленовой кислоты. В США выведены сорта подсолнечника с повышенным до 60–70% содержанием олеиновой кислоты (среднеолеиновые сорта). Высокоолеиновые сорта с содержанием олеиновой кислоты 80% были впервые получены советскими учеными с применением химического мутагенеза и традиционной селекции.

В нашей стране во ВНИИ масличных культур (ВНИИМК) селекционными методами получены безэруковые сорта рапса, сурепицы, горчицы сарептской. Масло, выделенное из семян этих сортов горчицы, содержит до

75–80% олеиновой и линолевой кислот. Сравнительно новым для селекционеров направлением является разработка сортов рыжика повышенной масличности, со сниженным содержанием линоленовой кислоты в составе масла.

Применение методов генной инженерии для создания растений, продуцирующих масла заданного типа. Применение методов генной инженерии с целью модификации жирнокислотного состава масел преследует, как правило, решение следующих задач:

— в соответствии с требованиями современной нутрициологии в масле новых сортов необходимо снизить долю насыщенных кислот и повысить содержание олеиновой кислоты;

— для улучшения вкуса масла и повышения его окислительной устойчивости должно быть снижено содержание линоленовой кислоты и повышено содержание олеиновой кислоты;

— для получения масел более плотной консистенции, в меньшей степени нуждающихся в промышленной переработке, особенно в гидрогенизации, проводится модификация растений в направлении увеличения доли насыщенных кислот в составе триглицеридов масел.

С помощью генной инженерии создан новый вид трансгенной сои, масло которой отличается высоким содержанием олеиновой кислоты (55–75%) при низких концентрациях линоленовой кислоты и насыщенных жирных кислот. В США проводится большая работа с целью получения генномодифицированной кукурузы, масло которой содержит высокие концентрации олеиновой и линолевой кислот, при пониженном содержании линоленовой.

Использование нетрадиционного масличного сырья целесообразно для получения специфических жирных кислот и других липидов, не встречающихся в традиционных масличных растениях или присутствующих там в ничтожном количестве

Перспективным источником считается амарант, масло которого содержит такие физиологически ценные компоненты, как сквален — регулятор липидного и стероидного обмена, предшественник некоторых стероидных гормонов, витамина D и холестерина, способный снижать уровень холестерина в сыворотке крови.

Технологии выделения таких масел предполагают небольшие объемы производства и специально разработанные технологические решения, учитывающие особенности используемого сырья и содержащихся в нем биологически активных компонентов [6, 8].

Применение переэтерификации, целью которой является позиционное перераспределение остатков жирных кислот в молекулах триглицеридов таким образом, чтобы изменились в нужном направлении физические свойства жиров и масел (температура плавления, кристаллизационные характеристики, твердость, пластичность). Преимуществом переэтерифицированных жиров является отсутствие или минимальное содержание в них транс-изомеров жирных кислот. В качестве сырья для переэтери-

фикации используют сочетания твердого и жидкого масел, например, пальмового и подсолнечного; полностью гидрированных кокосового и пальмоядрового с подсолнечным, соевым, или рапсовым; смесь соевого и других жидких масел с полностью гидрированным соевым маслом или высокоплавкой фракцией пальмового масла [1–3].

Процесс переэтерификации проходит в присутствии химических катализаторов (метилата или этилата натрия) или липолитических ферментов (энзимов). Химическая переэтерификация обеспечивает статистическое перераспределение всех жирнокислотных остатков во всех положениях триглицеридов; в случае ферментативной переэтерификации перераспределение носит позиционно-специфический характер, преимущественно в положении sn-1 и sn-3.

Фракционирование липидов, представляющее собой выделение с помощью физических методов триглицеридов определенного жирнокислотного состава, применяется для направленного изменения температуры плавления и других физических свойств некоторых видов растительных масел. В масложировой промышленности широко применяется фракционирование пальмового и пальмоядрового масел. С помощью технологии фрак-

ционирования производят разделение фосфолипидов на группы — фосфатидилхолины, фосфатидилэтаноламины, фосфатидилсерины, фосфатидилинозиты и др.

Смешивание (купажирование) растительных масел является эффективным технологическим приемом достижения заданного соотношения жирных кислот различных типов путем создания двух- или многокомпонентных систем из натуральных растительных масел. В составе смеси используют как рафинированные дезодорированные масла (подсолнечное, соевое, рапсовое, кукурузное, рыжиковое), так и нерафинированные (подсолнечное, льняное, рыжиковое, масло зародышей пшеницы). Для повышения пищевой и биологической ценности купажированных масел их обогащают физиологически функциональными ингредиентами (жирорастворимыми витаминами и фосфолипидами).

Это направление не требует больших финансовых вложений, сложного оборудования и затрат времени, поэтому разработки технологических основ получения смешанных рафинированных и нерафинированных растительных масел с оптимальным или улучшенным составом жирных кислот в настоящее время относятся к наиболее актуальным и перспективным [7].

Литература:

1. Железной С. А. Получение, фракционирование и идентификация пищевых растительных фосфолипидов: дис.... канд. техн. наук: 05.18.07, 05.18.01 / С. А. Железной. — Воронеж, 2002.
2. Зайцева Л. В. Водная экстракция масла из подсолнечного жмыха с использованием целлюлоз / Л. В. Зайцева, Т. Л. Наумова, А. П. Нечаев // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. — 1994. — № 2. — С. 15–17.
3. Зайцева Л. В. Энзимная и химическая переэтерификация: сравнительный анализ / Л. В. Зайцева // Пищевая промышленность. — 2011. — № 6. — С. 2–5.
4. Лукин А. А. Функциональные свойства подсолнечного масла / А. А. Лукин // Молодой ученый. — 2013. — № 6. — С. 68–70.
5. Лукин А. А. Характеристика и показатели качества некоторых видов растительных масел / А. А. Лукин, С. Г. Пирожинский // Молодой ученый. — 2013. — № 7. — С. 58–60.
6. Комаров А. В. Комплексные исследования рафинации жиров и разработка эффективных методов переработки: дис.... канд. техн. наук: 05.18.06 / А. В. Комаров. — М., 2003.
7. Скорюкин А. Н. Технология получения и применения купажированных жировых продуктов с оптимальным составом жирнокислотным составом ПНЖК: дис.... канд. техн. наук: 05.18.06 / А. Н. Скорюкин. — М., 2004.
8. Щербин В. В. Биохимическое обоснование влияния жирнокислотного состава смесей растительных масел на их биологическую ценность и окислительную стойкость при хранении: дис.... канд. техн. наук: 03.00.04 / В. В. Щербин. — Краснодар, 2005.

Использование датчиков адаптивного управления для повышения качества обработки деталей на станке с ЧПУ

Мустафаев Гусейн Абакарович, доктор технических наук, профессор;

Сидорчик Елена Владимировна, аспирант

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет) (г. Владикавказ)

Отличительной чертой адаптивной системы управления для достижения высокой точности при обработке детали на токарном станке с ЧПУ является корректирование приводов исполнительных рабочих частей станка по текущей информации о подконтрольных процессах и значениях параметров обработки.

Ключевые слова: управление технологическими процессами, адаптивное регулирование, повышение эффективности обработки путем программирования.

Введение и постановка задачи исследования. Общим для большинства существующих систем адаптивного управления при обработке металлических изделий на станке с ЧПУ является использование в качестве канала регулирования только привода подач. При этом по условиям требований точности обработки, особенно контурной концевыми фрезами, не полностью используется мощность привода главного движения и соответственно — потеря производительности. Наличие запаса мощности привода главного движения делает возможным и актуальным адаптивное управление динамической настройкой по двум каналам — приводу подач и приводу главного движения.

Специфика технологических процессов контурной обработки деталей на станках с ЧПУ определяет требования, предъявляемые к адаптивной системе: совмещение черновой и чистовой обработки в одной программе; выполнение черновой обработки при максимальной нагрузке на инструмент по критерию его прочности; выполнение чистовой обработки при максимальной скорости с обеспечением точности размера формируемых поверхностей деталей.

Предлагаемые методы решения. Рассматривая разработанную под руководством автора адаптивную систему числового программного управления контурной обработкой токарных станках типа Haas SF, Haas VL можно заметить, что система по каналам главного движения и подачи контурной обработкой обеспечивает одновременное предельное регулирование скорости привода главного движения в пределах, ограничиваемых нормативной стойкостью, и подач по критерию точности размера детали при максимальном использовании мощности привода токарно-револьверного станка с ЧПУ с шаговым приводом.

При контурном точении подрезными резцами специфичным является также то обстоятельство, что часто черновая выборка массы металла сопровождается чистовым формированием поверхности, обрабатываемой торцом инструмента. Учитывая, что специфика деформации инструмента влечет за собой разворот плоскости его торца относительно обрабатываемой поверхности, необходимо в этом случае за критерий обработки принимать не про-

чность инструмента, а качество формируемой чистовой поверхности.

Итак, адаптивная система ЧПУ должна поддерживать на заданном уровне нагрузку на инструмент по критерию прочности для черновой обработки [1] и по критерию точности при чистовой обработке с максимальным использованием мощности регулируемого привода главного движения [2] в пределах нормативной стойкости и подач в пределах заданных ограничений.

Указанные требования диктуют необходимость контроля текущих значений параметров, связанных с процессом регулирования мощности, величины подачи на зуб, частоты вращения и нагрузки на инструмент при черновом и чистовом режимах с заданием соответствующих ограничений.

В адаптивных системах ЧПУ станками используют датчики текущей информации значений выбранных параметров обработки. При управлении черновой обработкой применяют силовые датчики: крутящего момента, силы резания и ее составляющих, амплитуды колебаний, упругой деформации инструмента и исполнительных органов, например, шпинделя станка.

По полученной от датчика текущей информации автоматически корректируются траектория движения инструмента и оптимизируется (стабилизируется) режим резания при непредвиденных, случайных изменениях условий обработки.

Для оптимизации процесса обработки используют кроме силовых датчики температуры в зоне резания, износа инструмента и др. При чистовой обработке наиболее оптимальным будет адаптивное управление по информации о текущих значениях размеров обрабатываемых поверхностей и их качестве.

Специфической особенностью силовых датчиков адаптации является то, что они включаются в упругую систему СПИД и должны обладать высокой жесткостью и одновременно высокой чувствительностью [3]. При этом во избежание поломки быстродействие должно быть высоким (порядка 0,01с). Высокой чувствительностью обладают датчики, основанные на использовании магнитоупругого эффекта. Это видно из сравнения: коэффициент тензочув-

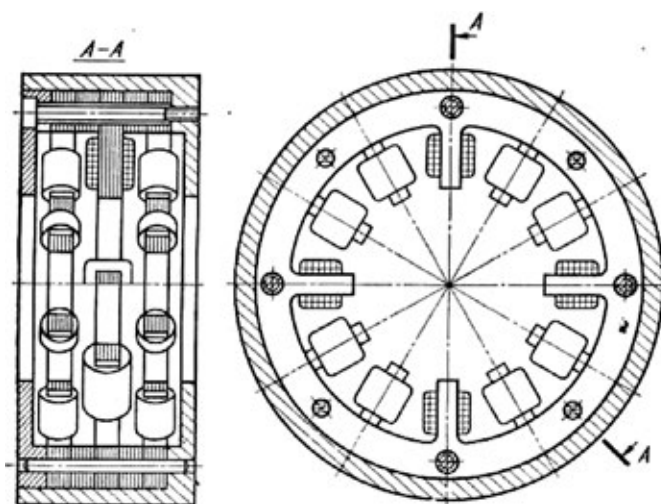


Рис. 1. Конструкция магнитоупругого датчика крутящего момента

ствительности магнитоупругих преобразователей достигает 400; полупроводниковых преобразователей — 100; проволочных тензорезисторов — 2.

Рассмотрим конструкцию магнитоупругого датчика крутящего момента (рис. 1).

Датчик состоит из корпуса, зафиксированного и закрепленного в нем магнитопровода и крышки. Магнитопровод состоит из пакетов, собранных из тонких листов электротехнической стали, склеенных между собой. Крайние пакеты имеют в 2 раза больше полюсных выступов, чем средний с бескаркасными катушками возбуждения. На выступах крайних пакетов смонтированы измерительные катушки. Катушки возбуждения соединены так, что магнитные полюса на соседних выступах чередуются [3]. При включении питания переменным током частоты 500–1500 Гц катушки возбуждения создают магнитный поток, который замыкается через чувствительные элементы (вал, шпиндель, втулку) и наводит ЭДС в каждом из плеч измерительных катушек.

Когда крутящий момент передается через колесо, то рабочим будет правый датчик, а компенсационным — левый. В соответствии с величиной крутящих моментов, передаваемых колесами, толщина стенок чувствительного элемента неодинаковая (правый тоньше), что повысило чувствительность датчика в области малых моментов. Использование компенсационных и рабочих датчиков обеспечило уменьшение пульсаций результирующего выходного сигнала в 5–6 раз по сравнению с выходным сигналом рабочего датчика.

В адаптивной системе оптимизации (АСО) фирмы Наас, предназначенной для повышения эффективности чистовой обработки на плоскошлифовальном станке, управ-

ляемом от ЭВМ, использованы датчики для измерения скорости вращения шпинделя, крутящего момента и вибраций. Критерием оптимизации служит максимальная скорость съема припуска при обеспечении заданной шероховатости поверхности. Следовательно, для большей оптимизации процесса обработки на станке с ЧПУ необходимо корректировать параметры уже в коде управляющей программы, что исходя из полученных экспериментальных данных уменьшает время обработки в 1,4–3,2 раза.

Критическое обсуждение результатов исследований.

Проведенные экспериментальные работы, промышленное испытание станков с адаптивными системами ЧПУ доказывают их перспективность в повышении эффективности (производительности, качества, снижения себестоимости) обработки деталей.

Адаптивное управление является действенным методом повышения эффективности обработки на станках с ЧПУ. Однако, несмотря на простоту идеи адаптивного управления, реализация ее затруднена из-за ряда еще не решенных проблем. Главными из них являются две. Одна из них связана с неполнотой имеющихся представлений о явлениях, происходящих при резании, и созданием промышленных средств измерения; другая — с необходимостью реализации значительного числа нелинейных функций, таких, как запоминание информации датчиков, логические и арифметические операции и т.д. Интенсивные исследования по этим проблемам уже дают результаты. Применение в адаптивных системах редактирования кода на программном уровне позволяет существенно расширить и усложнить алгоритмы оптимального и предельного регулирования без значительного увеличения затрат и уменьшения необходимости в специальной аппаратуре.

Литература:

1. Адаптивное управление технологическими процессами / Ю.М. Соломенцев [и др.]. — М.: Машиностроение, 1980. — 536 с.

2. Методы оптимизации. Текст. / Ю. И. Дегтярев — Учеб. пособие для вузов. М.: Сов. радио, — 1980. — 272 с.
3. Оптимизация эксплуатационно-технологических процессов в машиностроении / А. В. Чистяков, В. И. Бутенко, А. Я. Гоголев, Новочерк. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: НГТУ, — 1997. — 228 с.

Анализ методов трассировки применительно к задаче разводки волноводных трактов фазированных антенных решеток

Рипецкий Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент;
Зеленов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, программист;
Анамова Рушана Ришатовна, аспирант
Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет) (г. Москва)

Рассмотрена задача трассировки волноводных трактов внутри апертуры крупногабаритных фазированных антенных решеток. Проанализирована возможность применения существующих методов трассировки для решения задачи. Задача решена с применением тополого-геометрического метода на предложенной модели сегментного рабочего поля. Алгоритм программно реализован.

Ключевые слова: трассировка, волноводный тракт, тополого-геометрический метод, сегментное рабочее поле.

Введение

Повышение тактико-технических требований к радиолокационным системам неизбежно приводит к усложнению конструкций. Увеличение числа модулей влечет к увеличению габаритов. При этом антенная система, включающая в себя в качестве основного элемента фазированную антенную решетку (ФАР), продолжает оставаться наиболее сложным и дорогим элементом современных радиолокационных станций (РЛС). Это характерно для больших РЛС, у которых размер антенного полотна составляет несколько сотен и даже тысяч длин волн.

Одним из наиболее трудоемких этапов, возникающих в процессе проектирования крупногабаритных ФАР наземных локационных станций (см. рис. 1), является трассировка волноводных трактов, соединяющих выходы делителя мощности с входами излучателей, и расположенных внутри апертуры ФАР (см. рис. 2).

Отметим, что задача трассировки волноводов отличается от задачи трассировки трубопроводов, несмотря на внешнее сходство, и более близка к задаче трассировки печатных плат. Это обусловлено следующими особенностями трассировки волноводных трактов:

- равнодлинность волноводных линий (ветвей) тракта;
- возможно два варианта реализации трассировки: ортогональная разводка и неортогональная в зависимости от сечения основного волновода; в одной волноводной линии могут быть совмещены оба способа;
- трассировка волноводов одного тракта может быть однослойной (все волноводы укладываются в одной плоскости) и многослойной (в нескольких плоскостях);

— трассы имеют «заходные» участки, т.е. прямые начальные и конечные участки трасс, причем участки, идущие от выходов делителя, расположены в радиальном порядке (см. рис. 2).

Кроме того, на трассировку волноводов накладываются технологические и радиотехнические ограничения. В условиях жестких ограничений трассировка волноводных трактов становится трудоемкой задачей и требует высокой квалификации разработчика. Обзор существующих систем автоматизированного проектирования (САПР) [1] показал актуальность создания прикладного модуля САПР для автоматизированной трассировки волноводных трактов внутри апертуры ФАР.

Постановка задачи

Целью работы является оптимизация конструкции волноводного тракта, а также сокращение сроков и затрат на проектирование крупногабаритных ФАР.

Достижение поставленной цели основывается на решении следующих задач:

- 1) разработать математическое и алгоритмическое обеспечение, позволяющее добиться 100%-ой разводки трасс;
- 2) выбрать метод реализации трассировки, дающий оптимальный результат.

Под оптимальной трассировкой волноводного тракта подразумевается вариант трассировки, который:

- 1) удовлетворяет условию равнодлинности;
- Условие равнодлинности волноводных линий вытекает из радиотехнического требования: для формирования заданного фронта волны необходимо, чтобы сигнал приходил на разные излучатели в одной фазе, т.е. геометри-



Рис. 1. Этапы жизненного цикла крупноапертурных ФАР

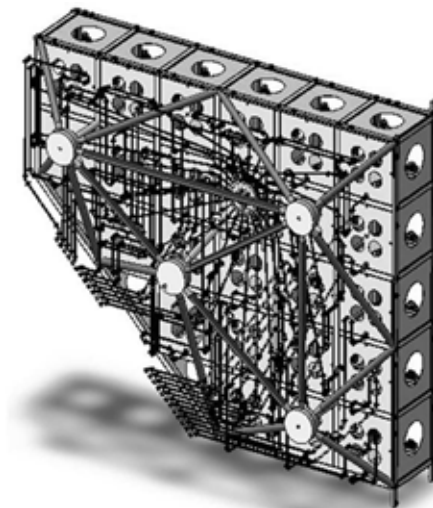


Рис. 2. Общий вид подрешетки ФАР со стороны монтажа

ческие длины ветвей тракта должны быть равны одной величине — базовой длине L_b . Очевидно, что базовая длина должна быть не меньше длины ветви, которая со-

единяет выход делителя с наиболее удаленным излучателем: $L_b \geq L_y$.

2) имеет минимальную суммарную длину тракта;

Затухания в волноводных линиях приводят к потерям электромагнитной энергии, следовательно, чем длиннее тракт, тем больше электромагнитной энергии теряется волной при прохождении пути.

3) имеет минимальное количество изгибов.

Повороты трассы (изгибы волноводов) вносят неоднородности, которые порождают высшие типы волн и приводят к потерям электромагнитной энергии.

Исходя из вышесказанного, задача трассировки волноводных трактов является задачей многокритериальной оптимизации и может быть сформулирована следующим образом: минимизировать с учетом ограничений целевую функцию

$$t^* = \arg \min F(t), \text{ где } t \in T, \tag{1}$$

$F(t)$ — целевая функция,

t — вариант трассировки, заданный в виде параметрически описанных координат точек трасс: $t = \{x_j(\xi), y_j(\xi), z_j(\xi)\}, j = \overline{1, N}$, где N — число ветвей тракта, равное числу излучателей (выходов делителя),

T — множество вариантов трассировки, удовлетворяющих ограничениям Ω_U и краевым условиям,

t^* — оптимальный вариант трассировки.

Целевая функция может быть записана в виде:

$$F(t) = \sum_p \varphi_p(t), \text{ где} \tag{2}$$

$\varphi_p(t)$ — критерии оптимизации трассировки:

$\varphi_1(t) = \sum L_j, j = \overline{1, N}$ — суммарная длина тракта, N — число излучателей;

$\varphi_2(t) = K_t$ — число изгибов волноводных линий тракта.

Набор параметров, задающих краевые условия:

$$P = \{(X_{1j}, Y_{1j}, Z_{1j}), (X_{2j}, Y_{2j}, Z_{2j})\}, \text{ где} \tag{3}$$

$(X_{1j}, Y_{1j}, Z_{1j}), j = \overline{1, N}$ — координаты входов излучателей,

$(X_{2j}, Y_{2j}, Z_{2j}), j = \overline{1, N}$ — координаты выходов делителя мощности,

N — количество излучателей.

Набор исходных параметров, определяющих ограничения:

$$U = \{g, \alpha, R, l_{\min}, M\}, \text{ где} \tag{4}$$

$g = \{g_k\}$ — геометрические характеристики апертуры ФАР;

$\alpha = \{\alpha_i\}$ — углы изгиба волноводной линии,

$R = \{R_i\}$ — радиусы изгиба волноводной линии,

l_{\min} — минимальная длина прямого участка;

$M = \{(x_m, y_m, z_m), (a_m, b_m, c_m)\}, m = 1, 2, \dots, k_m$ — параметры несущих металлоконструкций, располо-

женных внутри монтажного пространства апертуры:

(x_m, y_m, z_m) — координаты центров; (a_m, b_m, c_m) — габаритные размеры.

Ограничения Ω_U записываются в следующем виде.

Требование равнодлинности волноводных линий тракта:

$$L_1 = L_2 = \dots = L_N = L_b \tag{5}$$

Ограничение на длины начального и конечного («заходных») участков и на длины прямых участков между точками изгиба трассы.

Пусть $A(x_1, y_1, z_1), B(x_2, y_2, z_2)$ — точки изгиба некоторой трассы j , тогда имеем:

$$\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \geq l_{\min}. \tag{6}$$

Ограничение на углы изгиба траектории:

$$\alpha = \left\{ \pm \frac{\pi}{2} \right\} \text{ — для волноводов круглого сечения,}$$

α — любое для волноводов с прямоугольным сечением.

Ограничение на радиусы изгиба траектории: $R = \{R_i\}$, где множество R состоит из стандартных радиусов изгиба, соответствующих волноводам заданного сечения.

Условия п.2–4 вытекают из технологических требований.

Обеспечение требуемого расстояния между слоями трассировки.

В случае протяженного тракта выполняют трассировку в несколько слоев (как правило, в два слоя). Тогда имеем:

$$|a_{s1} - a_{s2}| = \Delta_s, \tag{7}$$

где $\Delta_s = 2l_{\min}$ — расстояние между слоями трассировки;

a_{s1} — координата точки, принадлежащей первому слою трассировки,

a_{s2} — координата точки, принадлежащей второму слою трассировки.

Трассы должны прокладываться в пределах монтажного пространства апертуры: $A_j \in V_g$, где $A_j = (x_j, y_j, z_j)$ — точки j -ой трассы, V_g — объем монтажного пространства, определяемый параметрами $g = \{g_k\}$.

Условие, обеспечивающее непересечение трасс друг с другом, и ограничение на расстояние между трассами одного слоя.

Для любых точек A_i и A_j , принадлежащих соседним трассам t_i и t_j , где $A_i = (x_i, y_i, z_i)$ и $A_j = (x_j, y_j, z_j)$, должно выполняться неравенство:

$$\rho \geq \frac{v_i + v_j}{2} + \delta_{\min}, \tag{8}$$

где $\rho = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2}$ — расстояние между точками;

параметр ν определяет геометрическую характеристику фланца волновода: для круглых фланцев ν является диаметром фланца; для прямоугольных ν рассматривается как диаметр окружности, описанной вокруг фланца;

δ_{\min} — минимальное расстояние между фланцами соседних волноводных линий, которое является следствием требований собираемости конструкции и удобства обслуживания.

Поскольку внутри апертуры размещаются несущие металлоконструкции, то должны быть предусмотрены зоны, запретные для трассировки: $\Delta = \{\delta_1, \dots, \delta_m\}$.

Пусть (x_m, y_m, z_m) — координаты центра запретной зоны m ; (a_m, b_m, c_m) — габаритные размеры зоны. Для того, чтобы трасса удовлетворяла условию, необходимо и достаточно, чтобы $\forall Q(x_q, y_q, z_q) \in t$ выполнялась система неравенств:

$$\begin{cases} |x_m - x_q| \geq \frac{a_m + \nu}{2} + \delta_{\min}, \\ |y_m - y_q| \geq \frac{b_m + \nu}{2} + \delta_{\min}, \\ |z_m - z_q| \geq \frac{c_m + \nu}{2} + \delta_{\min}. \end{cases} \quad (9)$$

Т.к. рассматриваются крупногабаритные ФАР наземного базирования, то не приводится ограничение по массе конструкции, а также не учитываются тепловыделения ввиду обязательного наличия системы охлаждения в антенных устройствах подобного типа.

Выбор метода решения

В [2, с. 13] методы трассировки поделены на две группы: геометрические и топологические. В [3] в отдельную группу выделены тополого-геометрические ме-

тоды. Такая классификация основана на применяемой модели коммутационного поля, а также на способе задания макро- и микроструктуры трасс. В последние годы для решения задач трассировки стали применяться и адаптивные методы поиска, к которым относятся генетические алгоритмы [4], [5, с. 194–229], [6]–[8], поэтому, на наш взгляд, их необходимо включить в современную классификацию методов трассировки (см. рис. 4).

Генетические алгоритмы относятся к нетрадиционным методам решения задачи трассировки и обладают своими достоинствами и недостатками. К достоинствам генетических алгоритмов относят: возможность их применения в задачах с изменяющейся средой [7], получение «достаточно хорошего» решения за меньшее время, чем при применении детерминированных алгоритмов [8, с. 4]. Среди недостатков таких алгоритмов выделяют: сложность кодирования решения [7], предварительная сходимость алгоритмов (попадание в локальные оптимумы, выход из которых затруднен) [5, с. 230], генетические методы не гарантируют обнаружения глобального оптимума за полиномиальное время [8, с. 4].

Что касается детерминированных методов, то методы геометрической трассировки, которые долгое время применялись для решения задач трассировки благодаря простоте реализации, постепенно изжили себя. Это обусловлено таким их недостатком, как сложность получения 100%-ой разводки в случае необходимости реализовать без пересечений некоторое множество трасс. Применяемая в методе геометрической трассировки модель дискретного рабочего поля (ДРП) не позволяет решить задачу быстро и эффективно. Это связано с тем, что точность решения напрямую зависит от числа ячеек ДРП, но при увеличении количества ячеек возрастает и объем требуемой машинной памяти для хранения описаний их состояний.

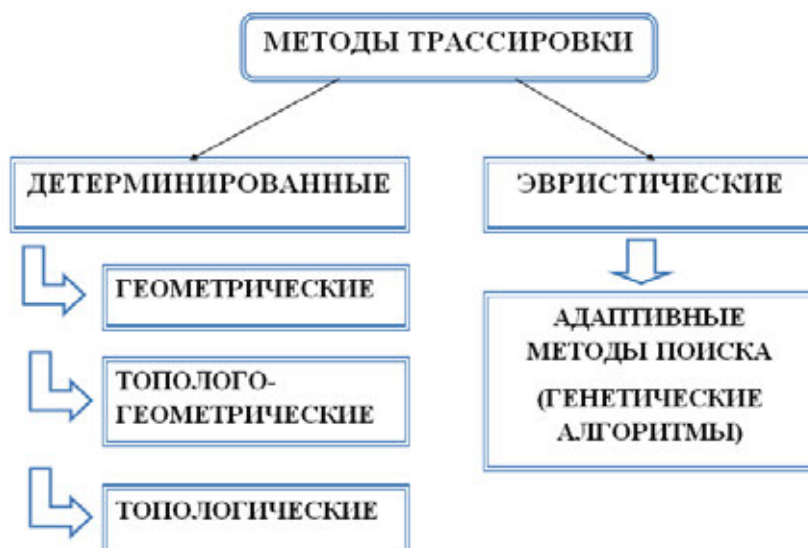


Рис. 4. Классификация методов трассировки

Таблица 1. Анализ методов трассировки

| Группа методов | Метод | Достоинства | Недостатки | Применение |
|-------------------|-------------------------|--|--|--|
| Детерминированные | Геометрический | Простота программной реализации. Возможность отслеживания геометрии трасс на любой стадии трассировки. Соблюдение метрических ограничений. | Большой объем требуемой памяти [2]. Низкое быстродействие [2]. Сложность 100%-ой реализации трассировки из-за жесткой фиксации трасс. | Целесообразно применять при малом количестве трасс и в конструкциях с небольшой степенью заполнения рабочего поля. |
| | Тополого-геометрический | Более высокое качество трассировки и быстродействие по сравнению с геометрическими методами. Возможность учета метрических ограничений. | Двухэтапность: сложность перехода от геометрического к топологическому этапу трассировки. | Применим для проектирования конструкций различной конфигурации. |
| | Топологический | Возможность описания нерегулярных структур. Возможность управления качественными показателями трассировки [3]. | Сложность соблюдения метрических ограничений [9]. Трудоемкость программной реализации [3]. | Применим для проектирования конструкций любой сложности [2]. |
| Эвристические | Генетический | Адаптивность к задачам различного класса. Быстрый поиск локального оптимума [7]. | Сложность кодирования решения [7]. Сложность управления процессом генетического поиска [5]. Сложность поиска глобального оптимума [7]. | Применим к широкому классу задач [7]. |

Перспективными на сегодняшний день являются топологические методы трассировки [2], [3]. В отличие от геометрического метода, топологические методы основаны на модели крупнодисcretного топологического рабочего поля (ДТРП), которая позволяет реализовать прокладывание трасс без жесткой фиксации их геометрии. Благодаря этому топологический метод дает оптимальное решение там, где геометрические методы бессильны. Однако и топологические методы не лишены недостатков. Так, в [9, с. 46] отмечается сложность соблюдения метрических ограничений при применении топологического метода трассировки, а в [3, с. 158] — трудоемкость программной реализации метода.

Анализ методов решения задачи трассировки приведен в таблице 1.

Учитывая специфику решаемой задачи, для ее реализации нами был выбран тополого-геометрический метод. К особенностям метода относится задание макроструктуры трасс геометрическими методами, а микроструктуры в небольших областях — с использованием некоторых топологических приемов. На первом этапе трассировки — проведение трасс минимальной длины — применяется жесткая фиксация трасс в реальных фи-

зических координатах. Это позволяет точно определить длину каждой трассы и величину, на которую требуется ее скорректировать для получения равнодлинности всех трасс. На втором этапе — достижение равнодлинности — выделяются допустимые области для удлинения трасс, и внутри этих областей к трассам применяются топологические приемы.

Существующие алгоритмы трассировки, как правило, классифицируют по принципу обработки связей [2], [10], либо по принципу проведения трасс (волновые, ортогональные, эвристические [11]). Причем, в первом случае, иногда разбивают алгоритмы трассировки на две группы: последовательные и параллельные [2, с. 13], а в некоторых источниках [10, с. 4] выделяют в отдельную группу параллельно-последовательные алгоритмы (см. рис. 5).

На наш взгляд, принцип обработки связей является определяющим при выборе алгоритма, поэтому остановимся на этой классификации подробнее. Последовательные алгоритмы предполагают проведение трасс последовательным способом, одну за другой. К таким алгоритмам относятся волновые алгоритмы. В параллельных алгоритмах трассы проводятся в два этапа [10, с.



Рис. 5. Классификация алгоритмов трассировки

4]. На первом этапе ведется построение множества трасс, а на втором этапе из них выбираются наиболее предпочтительные. К представителям параллельных алгоритмов можно отнести каналный алгоритм. В параллельно-последовательных алгоритмах параллельный алгоритм применяется либо для трассировки фрагментов трасс, либо для трассировки групп связей. Проведенный анализ алгоритмов трассировки представлен в таблице 2.

Для решения задачи трассировки волноводов был выбран параллельный алгоритм, благодаря следующим его достоинствам:

1) независимость результата от порядка трассировки связей;

2) более высокое качество трассировки по сравнению с последовательными и параллельно-последовательными алгоритмами.

Параллельный алгоритм, несомненно, не лишен недостатков. Так, в [2] отмечается, что поскольку в параллельных алгоритмах общее число вариантов огромно, то вероятность найти среди них оптимальное решение невелика. Однако в настоящее время вычислительные мощности ЭВМ позволяют обрабатывать довольно большие объемы данных, в связи с чем преимущество параллельных алгоритмов очевидно.

К рассматриваемой задаче применен принцип декомпозиции, согласно которому задача разбивается на несколько разнотипных подзадач, каждая из которых обладает своей спецификой [3, с. 8]. Выделены следующие подзадачи:

1) проведение трасс минимальной длины и нахождение базовой длины трасс;

2) решение задачи равноудаленности.

Исходя из вышесказанного, трассировка производится в два этапа. На первом этапе ведется построение трасс, соединяющих выходы делителя мощности с входами излучателей, и в качестве критерия применяется минимальная суммарная длина трасс и количество изгибов. Для решения данной подзадачи были применены методы линейного программирования.

В дальнейшем выходы делителя мощности будем называть «источниками» для трасс, а входы излучателей — «потребителями». Трассы, соединяющие источники с потребителями, будем называть «загруженными».

Задача максимизации общего числа разведенных трасс сведена к задаче линейного целочисленного программирования (ЗЦП):

$$F = \sum_{i=1}^N T_i \rightarrow \max, \quad (10)$$

где N — количество излучателей, т.е. под T_i понимаются такие трассы из все возможных, которые соединяют один выход делителя с одним излучателем.

Задача минимизации суммарной длины тракта может быть записана в виде:

$$\Phi = \sum_{i=1}^N a_i T_i \rightarrow \min, \quad (11)$$

где под коэффициентами a_i понимаются длины соответствующих трасс: $a_i = L(T_i)$.

На втором этапе производится корректировка длин трасс с помощью итерационного метода.

Связь делителя с излучателем может быть реализована различными трассами. Поэтому все возможные группы трасс объединяются в матрицу $A = (a_{ij})$. На рис. 3 матрица A разбита на несколько подматриц. Для решения ЗЦП применен метод Гомори.

Разработка математической модели

Поскольку задача трассировки решается не на реальном объекте, а на модели, то необходимо было разработать структурную модель, позволяющую представлять подрешетку ФАР различных размеров и с различным количеством излучателей. Структурная модель должна была отражать геометрические свойства объекта проектирования и удовлетворять следующим требованиям: адекватность, точность, универсальность, экономичность [12].

Предложена модель сегментного рабочего поля (СРП) в виде адаптивной радиальной сетки (см. рис. 6).

Далее под волноводной линией будем понимать трассу, соединяющую выход делителя с входом излучателя, а под сегментом волноводной линии — условный «отрезок» волноводной линии, соединяющий две вершины графа. Сегменты в совокупности с вершинами образуют сеть, покрывающую рабочее поле. Трасса в предложенной модели рабочего поля может входить и выходить из узлов

Таблица 2. Анализ алгоритмов трассировки

| Группа алгоритмов | Алгоритмы | Достоинства | Недостатки | Применение |
|------------------------------|----------------------------|--|--|--|
| Последовательные [3] | Волновой и его модификации | Простота реализации. Удобство соблюдения конструктивных ограничений [11]. | Сложность достижения 100%-ой реализации соединений при разводке множества трасс. Большие объемы вычислений и требуемой памяти [12]. Зависимость качества трассировки от порядка обработки связей [10]. | Эффективны при применении ДРП с числом клеток менее 10^5 , либо на начальных стадиях трассировки [12]. |
| | Лабиринтные | Более короткое время поиска, чем у волновых алгоритмов [12]. | Обеспечивают разводку около 80% соединений [12]. Большое число параллельно идущих трасс. | Целесообразно применять для трассировки с небольшой степенью заполнения рабочего поля. |
| | Эвристические | Быстродействующие и простые в программировании [11]. | Постоянный порядок построения трасс и, как следствие, неоптимальность результата [11]. | Применяются в случае, когда не предъявляется жестких требований к качеству трассировки [11]. |
| Параллельно-последовательные | Комбинированные | Качество трассировки лучше, чем в последовательных методах [10]. | Недостатки зависят от применяемой комбинации методов. | Регулярные и нерегулярные структуры. |
| Параллельные [3] | Канальные | Независимость результата от порядка трассировки. Высокое быстродействие. | Ортогональность трасс. Проблема качества трассировки [12]. | Ортогональная трассировка. Регулярные структуры. |
| | Гибкие | Высокое качество разводки. Возможность проведения трасс произвольной конфигурации. | Сложность перехода от модели топологии к модели геометрии трасс [12]. | Нерегулярные структуры. |
| | Графо-теоретические | Простота программной реализации. | Трудоемкость описания графовых моделей элементов и монтажного пространства [12]. Большой объем обрабатываемых данных. | Структуры произвольной конфигурации. |

сетки только по сегментам. Если два соседних узла не соединены сегментом, то между ними не может быть проложена трасса. Сегмент представляет собой вектор, то есть для него задаются не только начальная и конечная вершина, но и направление. Тем самым, два соседних узла могут быть соединены двумя сегментами, имеющими противоположные направления.

На СРП накладываются следующие ограничения:

- в каждый узел может входить только одна трасса;
- сумма трасс, входящих в узел, равна сумме трасс, исходящих из узла.

Важным свойством предложенной модели СРП является возможность изменения структуры сетки путем добавления и удаления сегментов (см. рис. 7).

Это осуществляется следующим образом. Для узла пользователь имеет возможность задать количество ближайших узлов, которые могут быть соединены с ним сегментами. Варьируя для узлов количество ближайших, которые могут быть соединены с ними сегментами, можно изменять углы проведения трасс и точность решения задачи. Также можно изменять количество ближайших узлов для соединения трассами для источников и для по-

| |
|--|
| <i>$T_1 \dots T_i$ – группа трасс</i> |
| <p><i>Условия на пропускные способности узлов:</i></p> <p><i>1) в каждый узел входит только одна трасса;</i></p> <p><i>2) количество входящих в узел трасс равно количеству исходящих.</i></p> |
| <p><i>Условия для источников:</i></p> <p><i>из каждого источника выходит одна загруженная трасса.</i></p> |
| <p><i>Условия для потребителей:</i></p> <p><i>в каждый потребитель приходит одна загруженная трасса.</i></p> |
| <i>Условия непересечения трасс</i> |

Рис. 3. Структура матрицы $A = (a_{ij})$

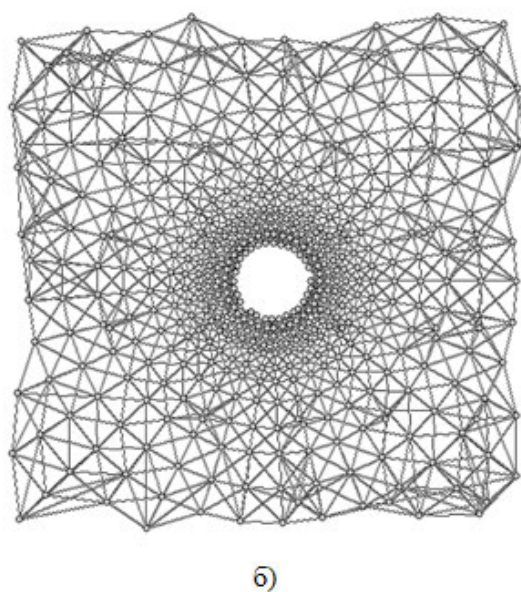
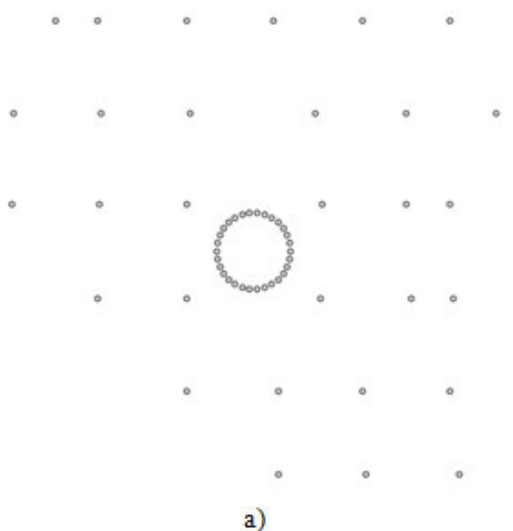


Рис. 6. Модель сегментного рабочего поля: а) начальные и конечные точки трасс; б) адаптивная сетка

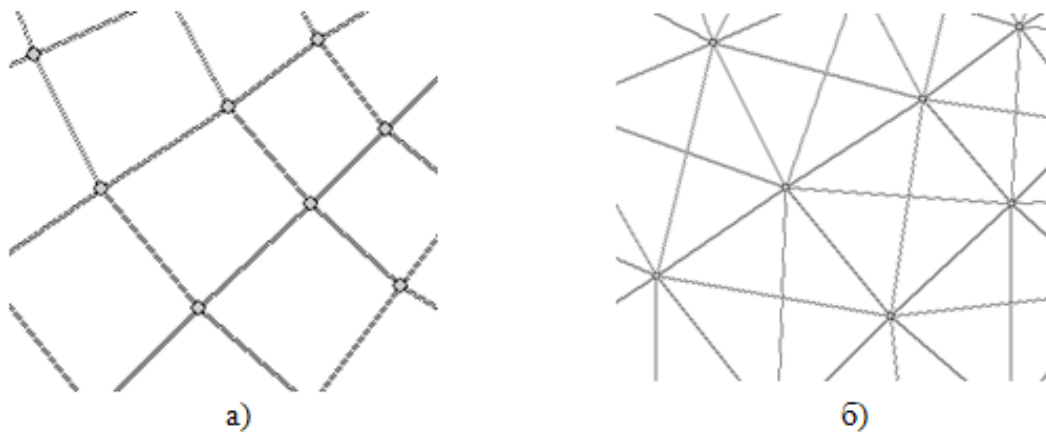


Рис. 7. Варианты структуры сетки: а) количество ближайших узлов равно 4; б) количество ближайших узлов равно 8

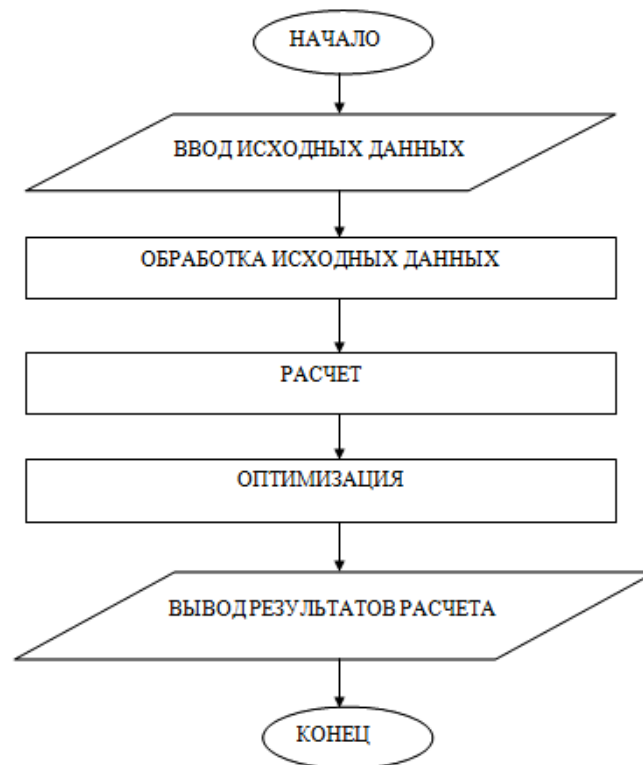


Рис. 8. Блок-схема программного модуля

требителей. Таким образом, на этапе эскизного проектирования можно решить задачу в первом приближении, на более разреженной сетке, а на этапе технического проекта — на частой сетке, что дает более качественную разводку.

Параметры, определяющие частоту сетки, а именно радиусы окружностей и углы лучей, на которых размещены узлы, также настраиваются пользователем.

Структурная математическая модель представляет собой ориентированный нагруженный граф. Вершинами графа являются узловые точки сети, выходы делителя

и входы излучателя. Дугами графа являются сегменты волноводных линий, соединяющие следующие упорядоченные пары вершин в графе: выход делителя → излучатель; выход делителя → узел; узел → излучатель; узел → узел. Физическим смыслом веса дуги в графе является длина участка волноводной линии. Путь в графе есть маршрут от выхода делителя к излучателю, проходящий через множество узловых вершин.

Адаптивная сетка по сравнению с регулярной позволяет улучшить качество решения задачи, и при этом уменьшить затраты памяти и увеличить быстродействие.

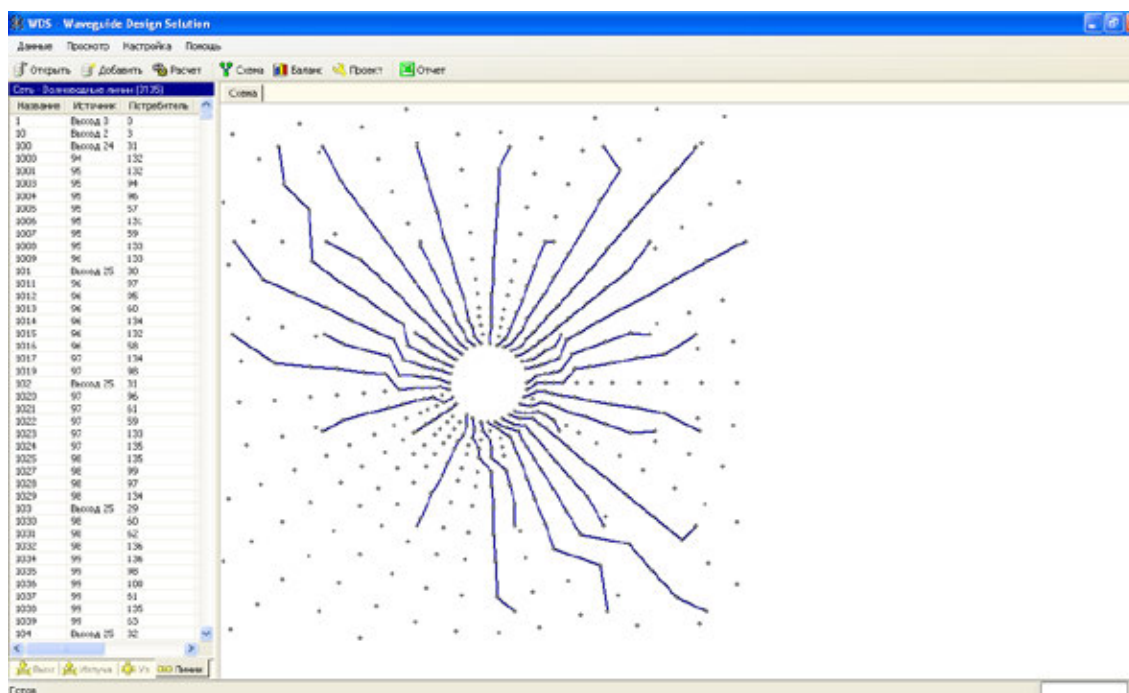


Рис. 9. Реализация первого этапа трассировки

Программная реализация

Метод программно реализован в прикладном модуле. Модуль представляет собой Windows-приложение, которое интегрируется с СУБД MS Access для импорта исходных данных и с системой трехмерного моделирования SolidWorks для экспорта результатов расчета в виде графической схемы (эскиз SolidWorks), содержащей осевые линии ветвей тракта.

Укрупненная блок-схема программы представлена на рис. 8.

Исходные данные задачи представляются в виде набора множеств:

- множество выходов делителя мощности (начальные точки трасс);
- множество входов излучателей (конечные точки трасс);
- множество узлов;
- множество сегментов волноводных линий.

Отсутствуют программные ограничения на количество излучателей, выходов делителя, узлов и сегментов волноводных линий.

Обработка исходных данных включает:

- 1) генерацию узлов;

- 2) адаптацию сетки;

- 3) генерацию допустимых сегментов трасс.

На данном этапе реализовано построение трасс минимальной суммарной длины без пересечений. Апробация программного модуля была произведена на ПК со следующими характеристиками:

- операционная система Windows XP Professional;
- Intel Core 2 Duo CPU;
- 1,58 ГГц, 3.00 ГБ ОЗУ.

Расчет произведен для подрешетки с габаритами 3x3 м, состоящей из 30 излучателей. Количество узлов сетки: 550. Время расчета минимальных трасс (волноводных линий минимальной длины) составило 10 мин. Получена 100%-ая разводка трасс без пересечений (см. рис. 9).

Практическое применение

Разработанный программный модуль может быть применен на этапах эскизного и технического проектирования волноводных трактов. Возможно использование предложенной в статье модели сегментного рабочего поля после некоторой корректировки параметров сетки для решения задач трассировки трубопроводов.

Литература:

1. Анамова Р.Р. Проблемы трассировки волноводов в антенных устройствах авиационной спутниковой связи // Труды МАИ: электронный журн. 2013. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=40232> (дата обращения: 27.07.2013).
2. Петренко А.П., Тетельбаум А.Я., Забалуев Н.Н. Топологические алгоритмы трассировки многослойных печатных плат. М.: Радио и связь. 1983. 152 с.

3. Базилевич Р. П. Декомпозиционные и топологические методы автоматизированного конструирования электронных устройств. Львов: Вища школа. 1981. 168 с.
4. Гумербаев Р. Р. Трассировка на коммутационном пространстве генетическим алгоритмом. URL: <http://nit.miem.edu.ru/sbornik/2009/sec1/007.html> (дата обращения: 27.08.2013).
5. Курейчик В. М. Генетические алгоритмы и их применение. — Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2002. 242 с.
6. Лебедев Б. К. Канальная трассировка на основе генетических процедур. Материалы всероссийской конференции «Интеллектуальные САПР-96». Известия ТРТУ. 1996. с. 53–60.
7. URL: <http://www.codenet.ru/progr/alg/smart/Genetic-Algorithms.php> (дата обращения: 28.08.2013).
8. Батищев Д. И. и др. Применение генетических алгоритмов к решению задач дискретной оптимизации. — Нижний Новгород. 2007. 85 с.
9. Лузин С. Ю., Полубасов О. Б. Топологическая трассировка: реальность или миф? // EDA Expert. 2002. № 5 С. 42–46.
10. Вулихман В. Е., Эльберт Л. М. Методы линейного программирования в задаче трассировки многослойного электрического монтажа. — М.: ИТМ и ВТ АН СССР. Препринт № 21 за 1983 г. 37 с.
11. Дендобренко Б. Н. Автоматизация конструирования РЭА. Учебник для вузов. — М.: Высшая школа. 1980. 384 с.
12. Курейчик В. М. Математическое обеспечение конструкторского и технологического проектирования с применением САПР. М.: Радио и связь. 1990. 352 с.

Применение авиационных ГТУ в энергетике

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;

Лоскутников Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Белобровина Марина Викторовна, лаборант;

Салимова Ирина Ильгиовна, лаборант;

Жеребило Виктория Юрьевна, лаборант

Уфимский государственный авиационный технический университет (Республика Башкортостан)

В статье проведен обзор основных тенденций и сложностей применения авиационных ГТД в качестве силовых энергетических приводов. Начиная с семидесятых годов прошлого века в энергетике, в нефтяной и газовой промышленности значительную роль начинают играть газотурбинные установки (ГТУ), создаваемые на базе авиационных ГТД путем их конвертирования (от английского слова «conversion» — превращение, изменение, перестройка, переоборудование). Первые опыты с применением газотурбинного привода в энергетике относятся к сороковым годам 20 века.

Энергетические установки, построенные на базе авиационных ГТД, находят применение в различных областях народного хозяйства в качестве: энергоприводов; источников сжатого воздуха с большим расходом; эксгаустеров; струйных и струйно-тепловых машин, используемых для перемещения грунта, очистки поверхности от пыли, грязи, льда и снега, диспергирования воды, вентиляции и т. п.; тепловых машин, применяемых для обогрева и сушки различных объектов, ВПП аэродромов; парогазогенераторов в пожаротушении и т. д.

Идея использования отечественных ГТД в энергетике была высказана профессорами А. Н. Ложкиным и Р. М. Петриченко [2].

Первый опытный образец газотурбогенератора на основе отечественного авиационного газотурбинного дви-

гателя был спроектирован под руководством автора в 1962–63 гг. После всестороннего анализа отечественных ГТД были выполнены технический и рабочий проекты газотурбогенератора на основе турбовинтового двигателя АИ-20.

Проектом обоснована возможность эксплуатации ГТГ при температуре наружного воздуха в диапазоне от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$ [2].

Таким образом, была доказана реальная техническая возможность создания ГТГ промышленного назначения на основе отечественных авиационных газотурбинных двигателей (АГТД).

Показатели тепловой экономичности рассматриваемых ГТУ можно считать удовлетворительными: при использовании двигателей ранних поколений КПД по выработке электроэнергии составляет около 30% и с более поздними ГТД — 35...38%. По сравнению с этим средний КПД по выработке электроэнергии в целом по РАО ЕЭС в последние годы составляет около 38%. Если учесть, что ГТУ очень хорошо вписывается в ГТУ-ТЭЦ для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии, то при установке этих ГТУ на ТЭЦ коэффициенты использования тепла топлива могут достигать 80–90% [1].

В рамках обобщения отечественного и зарубежного опыта, можно заключить, что для разработки и вы-

пуска оригинальных отечественных энергетических ГТУ большой мощности также целесообразно использование авиационной технологии. Опыт, знания и культура производства, сконцентрированные в авиадвигателестроении, дополненные пониманием условий работы, технических и экономических требований к энергетическому оборудованию и опытом изготовления крупных турбин, имеющимися у энергомашиностроителей, создают основу для успеха кооперации авиадвигателестроительных и энергомашиностроительных фирм.

Однако если при производстве авиационных ГТД масловый критерий является основным, то при энергетической направленности продукции необходимо сосредоточиться на ресурсе (не менее 100000 ч), удельном расходе топлива (экономия в 1% в течении ресурса переходит в сотни тысяч евро), эмиссии вредных веществ (при превышении норм установку просто запретят или штрафы превысят экономический эффект).

Впрыск пара в камеру сгорания существенно увеличивает удельную (на единицу расхода воздуха на входе в компрессор) мощность турбины; использование пара для охлаждения лопаток позволяет повысить уровень температуры рабочего тела; ввод пара в зону горения способствует снижению эмиссии окислов азота.

Высокие надежность и экономичность ГТУ достигнуты в результате совершенного конструирования и расчетов на основе последних научных достижений в области аэродинамики, тепломассообмена, горения, механики и конструкционной прочности, металловедения, металлургии и формообразования.

Можно привести яркие примеры отечественного энергомашиностроения. Энергоустановка (2НК-37+2КУ+1ПТ) (СНТК им. Кузнецова, г. Самара) обеспечивает мощность 66 МВт при КПД 48,6%. Энергетическая установка АЛ-31СТ разработана НПО «Сатурн» для газоперекачивающего агрегата мощностью 16 МВт. Разработанный ГП НПКГ «Заря-Машпроект» газотурбинный двигатель ГТД-110 мощностью 110 МВт предназначен для использования в составе парогазовых энергетических установок (ПТУ). По своим параметрам установка не уступает современным зарубежным энергоустановкам. Разработка ведется совместно с ОАО «НПО Сатурн». На базе газогенератора авиационного двигателя ПС-90А ОАО «Авиадвигатель» совместно с ОАО ЛМЗ приступили к созданию современной энергетической газотурбинной установки ГТЭ-180.

Наиболее предпочтительной выглядит простая схема утилизационной ГТУ, позволяющей теплом выхлопных газов нагревать воду (либо превращать ее в пар), например для отопления жилых массивов или использования для промышленных нужд. Данная схема имеет достаточно высокий коэффициент использования топлива — до 80%. Также рассматривается схема ГТУ с регенерацией тепла выхлопных газов путем подогрева ими воздуха, поступающего из компрессора в камеру сгорания.

Развитие ГТУ привело к существенному повышению экономичности парогазовых установок. При работе на природном газе их КПД достигли уже 55%, а эксплуатационные показатели не уступают, и даже превосходят показатели привычных для энергетики паровых энергоблоков. Преимуществами ПГУ, кроме высокой экономичности, являются умеренная удельная стоимость, слабое воздействие на окружающую среду, возможность сооружения за короткое время.

Наибольшая эффективность характерна для крупных бинарных ПГУ-ТЭЦ и мелких (15–20 МВт) ГТУ-ТЭЦ с водогрейными или паровыми котлами, а также для крупных бинарных ПГУ с конденсационной паровой частью.

Характерной особенностью газа как топлива, является то, что он уже находится в газообразном состоянии и, следовательно, не требует предварительного распыла и испарения.

При работе на природном газе снижается температура стенок жаровой трубы и неравномерность температурного поля. Кроме прочего резко снижаются вредные выбросы.

Нормирование вредных веществ в атмосферном воздухе и в воде водоемов производится на основе предельных допустимых концентраций наиболее распространенных в авиационной промышленности и транспорте вредных веществ в атмосферном воздухе и в воде водоемов санитарно-бытового использования.

Характер влияния запыленного воздуха на работу двигателя зависит от физико-химической природы пыли, ее дисперсного состава и концентрации пыли в общем объеме воздуха, засасываемого компрессором двигателя. Пыль в размягченном виде может также откладываться на лопатках компрессора, изменяя геометрию лопатки и ее шероховатость, что приводит к уменьшению коэффициента полезного действия (КПД) и соответственно снижению степени повышения давления и производительности компрессора. Максимальное количество отложений образуется на входном направляющем аппарате и первых ступенях компрессора.

Отложения пыли на деталях двигателя и их абразивный износ при воздействии твердых частиц пыли могут привести как к параметрическим отказам, так и к преждевременным разрушениям деталей двигателя.

Для повышения эффективности борьбы с загрязнением атмосферного воздуха регламентируется общее количество выбросов в атмосферу на основе ограничений предельно допустимых выбросов вредных веществ. Предельно допустимый выброс устанавливается из условия, чтобы содержание загрязняющих веществ в приземном слое воздуха от источника не превышало нормативов качества воздуха.

В настоящее время к загрязнению среды принято относить все те факторы, которые оказывают вредное воздействие, как на самого человека, так и на ценные для него организмы живой и объекты (ресурсы) неживой природы.

Со стороны газовых турбин наиболее значительными факторами воздействия на окружающую среду являются: тепловые выбросы, выбросы в атмосферу экологически вредных веществ и шум.

Выбросы в атмосферу экологически вредных веществ сопровождаются как возрастанием потребления топлива и атмосферного кислорода, так и увеличением масштабов загрязнения атмосферы выхлопными (дымовыми) газами. Газы эти представляют собой смесь продуктов сгорания с избыточным воздухом. До настоящего времени углекислый газ и водные пары не считались загрязнителями, но такое отношение к ним меняется, поскольку повышение их содержания в атмосфере способно повлиять на ее температуру и, следовательно, изменить климатические условия. Что же касается других компонентов продуктов сгорания, то они либо обуславливают дымление, либо являются токсичными. Наряду с ухудшением видимости взвешенные дымовые частицы продуктов сгорания представляют серьезную угрозу для здоровья человека.

В связи с изложенным, действующими санитарно-гигиеническими нормами установлены предельно допустимые концентрации (ПДК) взвешенных (пылевых) частиц в атмосферном воздухе, как максимально разовые (ПДК_{мр}), так и среднесуточные (ПДК_{ср}).

Конвертирование авиационных ГТД в наземные, установки сопряжено с решением ряда экологических проблем:

— Уменьшается потребление топлива до 40 % при комбинированном производстве электрической и тепловой энергии, соответственно снижаются уровень теплового загрязнения и выбросы вредных веществ в окружающую среду. Использование в качестве топлива природного газа и новых принципов организации горения также снижают выбросы вредных веществ;

— Исключаются выбросы в атмосферу природного газа за счет использования вместо него сжатого воздуха при выполнении работ по очистке и продувке маги-

стральных газопроводов с помощью генератора сжатого воздуха (ГСВ). В этой установке двигатель одновременно является объектом воздействия окружающей среды, в связи, с чем установлены закономерности изменения параметров и геометрических размеров элементов газозвдушного тракта при работе двигателя в условиях повышенной запыленности воздуха;

— Исключается использование химикатов при очистке аэродромных покрытий и путей и авиационной техники от атмосферных осадков за счет термокинетического воздействия струйно-тепловой машины на базе авиационного ГТД;

— Уменьшается водопотребление и исключается применение химических моющих средств при очистке нефтепромышленных труб от отложений с использованием газопаровой смеси, уменьшаются выбросы вредных веществ до уровня, ниже предельно допустимого, с помощью авиационного ГТД, за счет термокинетического воздействия в сочетании с впрыском водяного пара в камере сгорания установки с коаксиально организованным процессом горения.

Внедрение конвертированных авиационных ГТД в энергоустановки определяется:

— Необходимостью повышения технического уровня и эффективности энергопроизводства, строительства, транспорта и других отраслей хозяйства;

— Необходимостью сохранения и поддержания высоких технологий авиадвигателестроения за счет расширения сфер применения этих технологий;

— Необходимостью решения экологических проблем на фоне растущего техногенного воздействия на окружающую среду.

Непрерывно возрастающие требования по охране окружающей среды стимулируют интерес к вопросам как по защите окружающей среды от загрязняющего воздействия газотурбинных двигателей, так и от вредного воздействия факторов окружающей среды на сам двигатель.

Литература:

1. Изотов С. П., Шашкин В. В., Капралов В. М. и др.: Под общей ред. В. В. Шашкина «Авиационные ГТД в наземных установках», Л.: Машиностроение, 1984. 228 с.
2. Инженерная экология и экологический менеджмент: Под ред. Иванова Н. И., Фадиной И. М. М.: Логос, 2003. — 528 с.
3. Уваров С. Н. Авиационные и газотурбинные двигатели в энергетике. «Энергия», Л. 1971.
4. Сайт ОАО КПП «Авиамотор» <http://www.aviamotor.ru>. Режим доступа: свободный.

Меры повышения безопасности строительных конструкций при террористической угрозе

Фадеева Галина Дмитриевна, доцент;

Гарькин Игорь Николаевич;

Железняков Леонид Алексеевич

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В настоящей статье рассматривается вопрос о повышении «живучести» строительных конструкций при террористической угрозе, особый упор делается на рассмотрение зданий, имеющее стратегическое значение, даются рекомендации для минимизации урона зданиям и сооружениям при террористической атаке.

Ключевые слова: строительные конструкции, повышение живучести, террористическая угроза.

В связи с повышением угрозы террористических актов, особой опасности грозит строительные конструкции в зданиях массового скопления людей (торговые культурные центры), а так же в зданиях стратегического назначения (здания ТЭЦ, ГЭС, водоочистных сооружений и др.). Опасность возникает из-за крайней уязвимости данных объектов. Террористические группы могут добиться максимального количества жертв, при минимально затраченных ресурсах. К примеру, в любом здании с беспронной системой покрытия, достаточно подорвать одну плиту покрытия, чтобы спровоцировать лавинообразное разрушение [1]. К счастью разрушения именно из-за подрыва ещё не было, но техногенные аварии случались довольно часто. В Пензе в 1988 г. В результате лавинообразного обрушения обрушился весь температурный блок одного из цехов завода ЛАЗ (обрушилось 4032 м² покрытия цеха) [2], [3]. Если же террористические группы смогли организовать нечто похожее, но, к примеру, в здании ТЭЦ (в зимнее время) результаты могли бы быть катастрофическими. В настоящее время очень многие промышленные здания (в том числе стратегического назначения) имеют беспронную систему покрытий, к тому

же имеют большие дефекты несущих конструкций вследствие физического износа (что было подтверждено обследованием различных промышленных зданий на территории города Пензы) [4].

Так же потенциально опасные могут быть здания, которые изначально построенные с нулевой живучестью. Примером такого здания может, является «Крытого конькобежного центра» в Москве [5]. В этом центре весной 2007 г. возникла аварийная ситуация, которая могла привести к обрушению всего сооружения. После восстановления сооружения живучесть осталась «нулевой». Очевидно, что конструкции с низкой живучестью могут привести к гибели людей и их нельзя рекомендовать для зрелищных и спортивных сооружений.

Часто, при проектировании и строительстве даже зрелищные и других сооружения, где скапливается значительное количество людей, предпочтение отдаётся решениям архитектора, а не инженера! Такие решения приводят к трагическим последствиям с гибелью людей, и без участия террористов, например, всем известные случаи обрушения в Москве «Аквапарка» (рис. 1) и «Крытого рынка» (рис. 2) [6], [7], [8].



Рис. 1. Обрушение Трансваль-Парка г. Москва



Рис. 2. Обрушение Басманого рынка г. Москва

Подводя итоги можно порекомендовать следующие мероприятия по снижению риска террористических актов на объектах зрелищных и промышленных зданий:

1. Выявлять в зданиях дефекты, которые могут быть использованы террористическими группами.
2. При невозможности устранения дефектов, ввести за ними постоянное наблюдение.
3. При проектировании, или реконструкции зрелищных

зданий нужно в первую очередь опираться на технические решения принятые не архитектором, а инженером, ставя безопасность конструкций на первое место.

4. В промышленных зданиях пытаться избегать беспрогонной системы покрытия.

Проведения данных мероприятий поможет существенно снизить риск террористических актов в общественных и промышленных зданиях.

Литература:

1. Гарькин И. Н. К вопросу о безопасности зданий теплоэлектростанций // К вершинам познания: мат. Всероссийской науч.-практ. конф. — Тюмень: ТюмГНГУ. 2011 с. 83–85.
2. Кузин Н. Я., Нежданов К. К., Елизаров Ю. В. и др. // Обследование строительных конструкций сталелитейного цеха ЛАЗа после обрушения и разработка рекомендации по и разборке. — Пенза. 1989.
3. Гарькин И. Н. Анализ причин обрушений промышленных зданий // Мат. междунар. заоч. конф. «Технические науки: проблемы и перспективы» — СПб: Изд-во Молодой учёный 2011 г. С. 27–29.
4. Нежданов К. К. // Обследование несущих конструкций «Турбинного отделения» ТЭЦ-2 г. Пензы и разработка способов их усиления. — Пенза. 2006 г.
5. Дробот Д. Ю. Живучесть большепролётных металлических конструкций, автореф. канд. дисс. М. МГСУ, 2010.
6. Канчели В. Н. Строительные пространственные конструкции: Учеб. пособие. Издательство АСБ, 2003. — 112 с.
7. Кузьмишкин А. А., Гарькин И. Н. Меры предотвращения обрушений зданий // «Проблемы техносферной безопасности — 2012»: мат. Междунар. науч. практ. конф. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. — 259 с., с. 128–130.
8. Гарькин И. Н., Шматов Д. В. Решение проблем безопасности строительных конструкций // Потенциал интеллектуально одарённой молодёжи — развитию Каспия: мат. I междунар. науч. форума. молод. уч., студ. и школ. 21–26 мая 2012 г. — Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ», 2012. -294 с. с. 169–171.

Химико-технологические аспекты проблемы окисления медных контактов электрооборудования, эксплуатируемого в цехах очистки воды

Чупрова Лариса Васильевна, кандидат педагогических наук, доцент;
Ершова Ольга Викторовна, кандидат педагогических наук, доцент;
Муллина Эльвира Ринатовна, кандидат технических наук, доцент
Магнитогорский государственный технический университет имени Г. И. Носова (Россия)

Предприятия птицеперерабатывающей промышленности являются одними из крупнейших потребителей воды, что обуславливает большой объем образующихся сточных вод. Переработка продуктов жизнедеятельности птицы, отходов убоя и очистка высококонцентрированных сточных вод является важной составляющей работы любого предприятия и требует внедрения современных технологий и оборудования для очистки сточных вод и переработки помета, что позволит повысить рентабельность предприятия за счет снижения экологических платежей, рационального использования энергоресурсов и управления отходами.

Состав сточных вод различен и зависит от мощности предприятия, его производственного профиля, технического оборудования и от вида и возраста птицы, подвергающихся убою и переработке. Особенностью сточных вод этих предприятий является высокое содержание в них жиров, белков, соединений азота и фосфора, а также других специфических загрязнений. Сброс таких высококонцентрированных сточных вод без предварительной очистки на городские очистные сооружения, приводит к нарушению кислородного режима в сооружениях биологической очистки, изменению концентраций ионов водорода, видовому изменению микрофлоры, увеличению илового индекса и выносу активного ила из очистных сооружений. Очистка таких стоков сопряжена со значительным потреблением растворенного кислорода, и, как следствие, возникает необходимость подачи для аэрирования большого объема воздуха. Окисление также затруднено значительным содержанием азот- и фосфорсодержащих органических веществ.

На птицеперерабатывающих предприятиях для физико-химической очистки воды используют напорную флотацию. Сущность данного метода заключается в сборе загрязнений и выносе их на поверхность с помощью микропузырьков воздуха, которые образуют с загрязнениями прочные флотокомплексы. Для этого в камеру флотатора параллельно со сточной жидкостью поступает пересыщенный воздухом раствор, из которого в результате перепада давления выделяются мельчайшие пузырьки газа. Поднимающиеся на поверхность жидкости флотокомплексы (пузырьки газа с частичками загрязнений) формируют флотопену, которая легко удаляется с поверхности жидкости.

Исследования и практика эксплуатации электрооборудования цехов очистки воды показывают, что они подвержены быстрому и нередко непредсказуемому разру-

шению, а именно происходит быстрое окисление медных контактов оборудования, что нежелательно сказывается на работе всего комплекса очистки и приводит к быстрому выводу оборудования из строя.

Одной из наиболее значимых причин снижения надежности работы электрооборудования, содержащего медные контакты, является разнообразное воздействие на них агрессивной среды.

Известно, что в атмосферных условиях в отличие от многих других металлов, медь не подвергается коррозии, так как на ее поверхности образуется тонкий ровный слой (пленка) продуктов коррозии, не содержащая никаких агрессивных соединений, способных при каких-либо условиях разрушать металл. В воде и нейтральных растворах солей медь обладает также достаточной устойчивостью, которая заметно снижается при доступе кислорода и окислителей. В морской воде, аэрируемой при малой скорости движения, медь характеризуется небольшим равномерным растворением (порядка 0,05 мм/год). При высоких скоростях течения жидкости, а также ударах струи скорость коррозии меди сильно повышается [3].

Однако, такие факторы, как влажность и температура воздуха, а также состав атмосферы способствуют протеканию коррозионных процессов. Причём, агрессивные свойства атмосферы по отношению к металлам определяются не только влажностью, но и теми загрязнениями, которые в нее попадают. Для установления причин окисления медных контактов электрооборудования и принятия технических решений по проблеме были проведены исследования в цехе физико-химической очистки воды (ФХО) птицеводческого предприятия.

В соответствии с ISO 11357 проведен анализ окисленных образцов медных контактов в различных зонах цеха ФХО технической воды для определения качественного состава продуктов коррозии. Определение проводили методом дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа (ДСК и ТГ) на синхронном термоанализаторе марки STA449F3 Jupiter фирмы NETZSCH. Результаты испытаний представлены на рисунках 1–3.

На основе полученных данных установили, что в составе продуктов коррозии содержатся следующие компоненты: сульфид меди (II) CuS (температура разложения $> 450^\circ\text{C}$); сульфид меди (I) Cu_2S (температура разложения 1129°C); оксид меди (II) CuO (температура разложения $> 800^\circ\text{C}$); оксид меди (I) Cu_2O (температура разложения 1242°C);

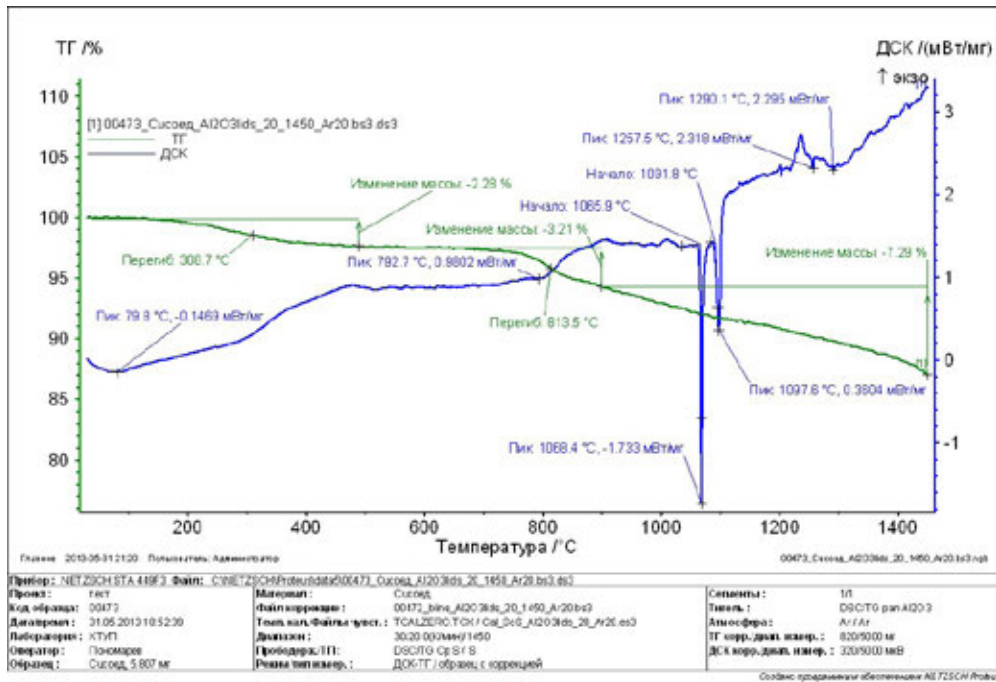


Рис. 1. Кривая ДСК и ТГ образцов медных контактов электрооборудования цеха ФХО технической воды

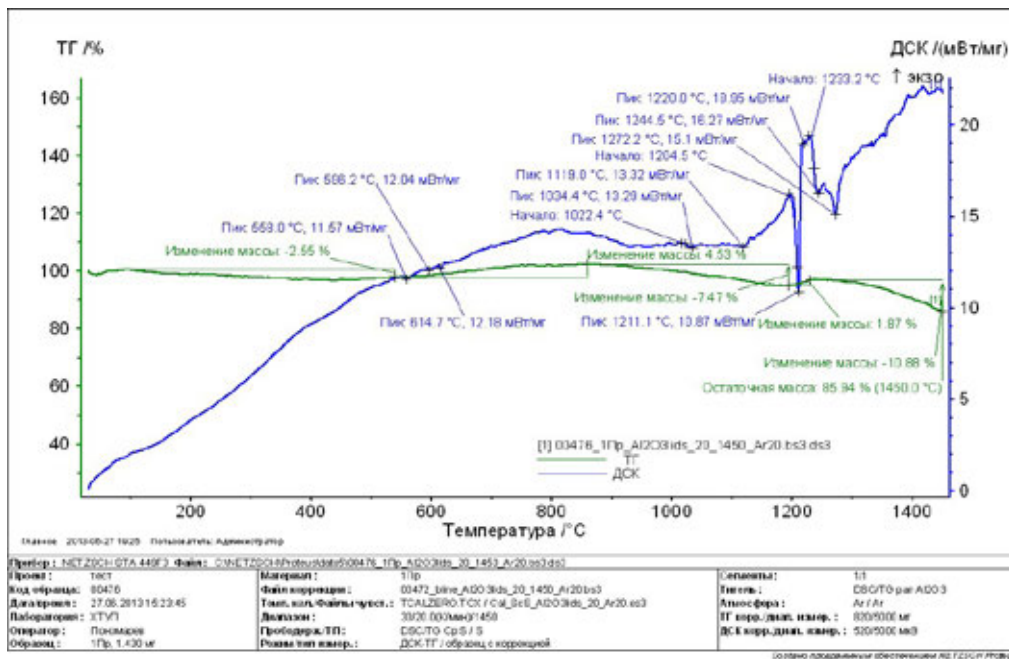


Рис. 2. Кривая ДСК и ТГ опытного образца № 2 (площадка напорно-реагентного флотатора)

хлорид меди (II) $CuCl_2$ (температура разложения $596.0^{\circ}C$);
хлорид меди (I) $CuCl$ (температура разложения $1212^{\circ}C$).

Результаты эксперимента позволили предположить, что электрооборудование эксплуатируется в условиях агрессивной среды, компоненты которой, взаимодействуя с медными контактами, разрушают их и выводят из строя оборудование. Поэтому необходимо определить степень агрессивности среды, исследуя атмосферный фон рабочей зоны цеха ФХО воды и дополнительные факторы, влия-

ющие на состав атмосферы.

Для испытания были взяты пробы воздуха рабочей зоны операторской (1 этаж) и зоны флотации (2 этаж) цеха физико-химической очистки технической воды. Количественный химический анализ воздуха приведен в таблице № 1.

На основе полученных данных установлено, что в составе воздуха рабочей зоны содержатся следующие компоненты: аммиак, сероводород (дигидросульфид), хлор, хло-

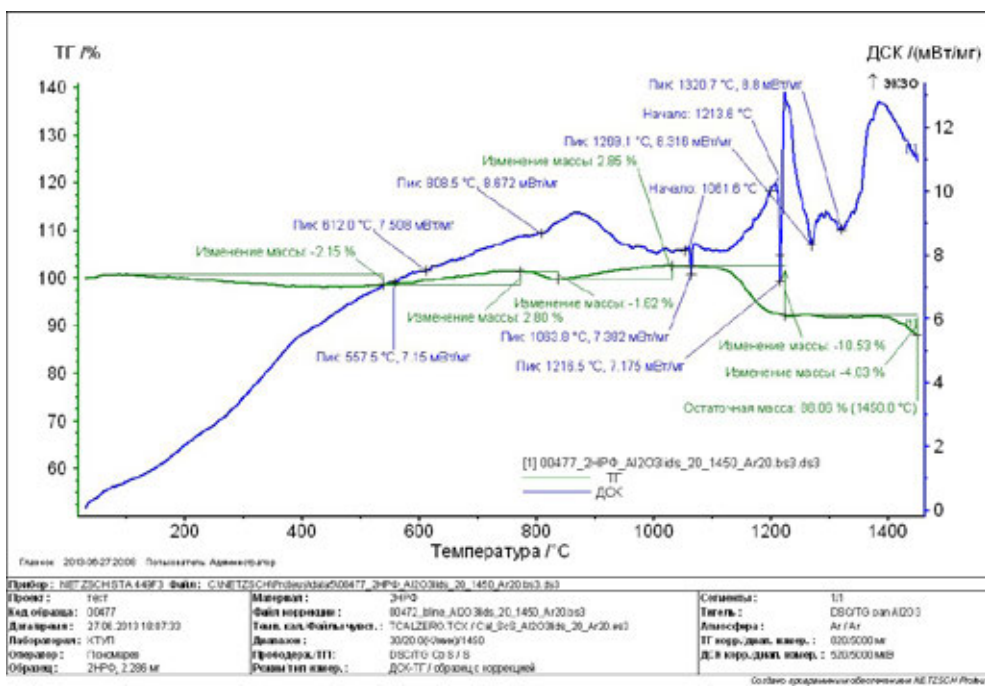


Рис. 3. Кривая ДСК и ТГ опытного образца № 3 (рабочая зона оператора)

родоводород (гидрохлорид), диоксид серы, которые относятся к числу коррозионноактивных газов. Полученные результаты качественного и количественного состава воздуха рабочей зоны, изучение правовой и нормативной документации позволили определить, что среда, в зоне которой происходит работа электрооборудования, является среднеагрессивной. Наличие в атмосфере нескольких коррозионноактивных газов и повышенная влажность ещё более усиливает её агрессивность, что является основным внешним фактором, способствующим протеканию коррозии медных контактов и выводу из строя оборудования [2].

Для выявления дополнительных факторов, влияющих на состав атмосферы рабочей зоны цеха ФХО воды, проведены исследования технической воды, поступающей на очистку из цеха убоя птицы (проба № 1) и после цикла флотационной очистки (проба № 2). Результаты анализа представлены в таблице № 2.

На основе полученных данных установлено, что в составе технической воды находятся хлорид — и сульфид — ионы, обладающие корродирующими свойствами, а в атмосфере влажного воздуха значительно способствуют увеличению скорости коррозии. Основное действие ионов хлора заключается в препятствии образованию пассивирующих пленок на поверхности металла.

Посещение цеха ФХО воды и изучение процессов, протекающих при цикле флотационной очистки технической воды, позволили установить сопутствующие факторы, усиливающие агрессивность атмосферной среды. К таким факторам относятся процессы гниения органических фрагментов (белков), которые образуются в процессе убоя птицы и образование соединений (меркаптанов, цианидов и др.), усиливающих степень агрес-

сивности среды, что создаёт возможность для протекания биокоррозии. Конечными и промежуточными продуктами биохимических реакций могут быть органические кислоты, аммиак, сероводород и др., многие из них агрессивны по отношению к различным металлам. К разрушителям металлов относятся также нитрифицирующие бактерии, серобактерии, метанообразующие бактерии и др., вероятность образования которых возможна в условиях работы цеха ФХО воды.

Таким образом, проведение мероприятий по установлению причин, вызывающих коррозию медных контактов электрооборудования, позволило установить основные факторы, влияющие на вывод оборудования из строя: электрооборудование, содержащее медные контакты, эксплуатируется в среднеагрессивной среде, что является недопустимым, так как медь в этих условиях подвержена сильной коррозии, а установленные сопутствующие факторы, усиливают процесс разрушения металла.

Для предотвращения коррозионного разрушения медных контактов электрооборудования могут быть проведены следующие мероприятия:

- значительное уменьшение степени агрессивности среды, эксплуатируя электрооборудование только при условии работы соответствующего вентиляционного оборудования, подобранного с учётом состава атмосферы рабочей зоны цеха ФХО воды;
- проведение технических мероприятий, направленных на полную герметизацию медных контактов от воздействия агрессивной среды;
- проведение технических мероприятий, направленных на повышение антикоррозионных свойств медных контактов путём нанесения неметаллических лаковых

Таблица 1. Количественный химический анализ воздуха рабочей зоны

| Место отбора пробы | Определяемые показатели | Единицы измерения | Результаты исследований, характеристика погрешности |
|---|-------------------------|-------------------|---|
| Рабочее место оператора очистных сооружений. Первый этаж (операторская) | Аммиак | мг/м ³ | менее 1 |
| | Дигидросульфид | мг/м ³ | менее 5 |
| | Хлор | мг/м ³ | менее 0,5 |
| | Формальдегид | г/м ³ | менее 0.01 |
| | Гидрохлорид | мг/м ³ | менее 3 |
| Второй этаж | Диоксид серы | мг/м ³ | 2,2±0.5 |
| | Аммиак | мг/м ³ | 1,1+0.25 |
| | Гидрохлорид | мг/м ³ | менее 3 |
| | Диоксид серы | мг/м ³ | 2,1+0.5 |
| | Дигидросульфид | мг/м ³ | менее 5 |
| | Формальдегид | мг/м ³ | менее 0,01 |
| | Хлор | мг/м ³ | менее 0,5 |

Таблица 2. Результаты анализа проб воды

| Наименование определяемых компонентов | Единицы измерения | Результаты анализа | |
|---------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| | | Проба № 1 | Проба № 2 |
| Водородный показатель | pH | 6,95 ± 0,20 | 6,27 ± 0,20 |
| Хлорид-ион | мг/дм ³ | 456,5 ± 45,7 | 461,5 ± 46,2 |
| Сульфаты | мг/дм ³ | 356 ± 64 | 593 ± 107 |
| Аммоний-ион (по азоту) | мг/дм ³ | 27,9 ± 5,9 | 18,4 ± 3,8 |
| Фосфат-ион | мг/дм ³ | 2,55 ± 0,36 | 0,16 ± 0,03 |
| Сульфид-ионы | мг/дм ³ | 0,008 ± 0,003 | 0,023 ± 0,006 |
| Железо общее валовое | мг/дм ³ | 29,6 ± 3,0 | 5,10 ± 0,51 |
| Цинк | мг/дм ³ | 0,188 ± 0,039 | 0,195 ± 0,041 |
| Медь | мг/дм ³ | 0,0059 ± 0,0024 | 0,0048 ± 0,0019 |
| Фенолы | мг/дм ³ | 0,035 ± 0,011 | 0,446 ± 0,138 |

покрытий, удовлетворяющих следующим требованиям: низкая влаго- и кислородопроницаемость, высокие механические характеристики, высокая и стабильная во вре-

мени адгезия покрытия к металлу, стойкость к катодному отслаиванию, хорошие диэлектрические характеристики, устойчивость покрытия к тепловому старению [1].

Литература:

1. Зайцева Л.Г., Головки Л.И., Румянцев Л.Ю. Применение полиуретановой эмали УР — 7115 для антикоррозионной защиты оборудования предприятий пищевой промышленности. // Лакокрасочные материалы и их применение, № 3. — Москва, 1995.
2. СНиП 2.03.11—85. Защита строительных конструкций от коррозии.
3. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защиты металлов. М., 1959.

БИОЛОГИЯ

Сезонное развитие *Tilia cordata* Mill. и *Padus maackii* (Rupr.) Kom. в городе Томске

Крюкова Ксения Александровна, аспирант

Национальный исследовательский Томский государственный университет (г. Томск)

Систематические наблюдения за сезонным развитием древесных растений являются одним из способов ознакомления с окружающей средой. Изучением сезонного развития, как живой и неживой природы занимается наука фенология. Проведение систематических наблюдений в России за развитием природы началось в XVIII веке. В 1721 г. Петр I дал указание А.Д. Меньшикову присылать ему из разных окрестностей строящегося тогда Петербурга, веточки деревьев и кустарников с развернувшимися листьями «...с подписанием чисел, дабы узнать, где ранее началась весна ...» (цит. по кн.: [1]). Фенологические наблюдения в Томске были организованы во время проведения Академией наук Второй Камчатской экспедиции (1733–1743). На участника экспедиции академика И.Г. Гмелина возлагалась организация метеорологических станций и наблюдений за климатом по пути следования экспедиции [2]. Для этого академик Д. Бернулли разработал специальную инструкцию по проведению метеорологических наблюдений. Организация метеорологических наблюдений на местах была возложена на казаков «... обладающих светлой головой, которые умели читать и писать. Такой казак получал тем самым преимущество перед собратьями, бывал освобожден от всех городских повинностей ...» (цит. по ст.: [3]). В Томске метеорологические наблюдения осуществлялись казаком П. Соломатиным до 1737 г. [4]. Наблюдения же за сезонным развитием растительности в Томске и его окрестностях проводились с конца XIX века. Так, например, известный фенолог Томска, профессор Томского университета — Г.Э. Иоганзен начал публиковать первые заметки по фенологии в газете «St. Petersburg Herald» (1894–1896) [5]. Фенологические наблюдения Г.Э. Иоганзен проводил более тридцати лет и свои данные он заносил в фенологические дневники, которые публиковал с 1911 г. В 1919 г. начаты фенологические наблюдения профессором П.Н. Крыловым в систематическом отделе Ботанического сада Томского университета за развитием растений. Продолжила фенологические наблюдения П.Н. Крылова его ученица — профессор Л.П. Сергиевская [6]. Во второй половине

XX века сотрудниками Сибирского ботанического сада в Томске проводятся многолетние фенологические наблюдения за древесными и кустарниковыми растениями. В настоящее время проводятся наблюдения за сезонным развитием растительности в г. Томске разными учреждениями и организациями, а также просто любителя природы.

Цель нашего исследования заключалась в изучении сезонного развития интродуцированной древесной растительности двух видов. Объектами исследования являлись липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) и черемуха Маака (*Padus maackii* (Rupr.) Kom.), произрастающие в городе Томске.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в течение трех вегетационных периодов с 2010 г. по 2012 г. в черте г. Томска. Наблюдения за сезонным развитием вегетативных и генеративных органов липы мелколистной и черемухи Маака, осуществлялись по общеизвестным методикам, применяемым в фенологии [7–8]. Для изучения сезонного развития были выбраны фенологические фазы: набухание почек — отмечается, когда чешуйки, прикрывающие почку, начинают расходиться, раздвигаться и делаются заметными светлые полоски; облиствение — фиксируется появлением первых мелких листьев с уже развернувшейся листовой пластинкой; начало цветения — отмечают, когда не менее 10% особей данного вида имеют в кронах первые цветки с полностью раскрывшимся венчиком; окончание цветения — отмечают, когда остаются цветки не более чем у 5% особей; начало осеннего расцветивания листьев — отмечается день появления в кроне первых, целиком окрашенных в осенние тона 10% листьев; массовый листопад — отмечают день, когда произошло резкое поредение 50% листвы в кронах большинства растений данного вида.

В своем исследовании за вегетационный период был принят интервал времени с момента набухания почек до массового листопада.

Результаты и их обсуждение

Климат Томска переходный от умеренно влажного к резко континентальному, характеризуемый теплым летом и холодной зимой, равномерным увлажнением, довольно резкими изменениями элементов погоды в сравнительно короткие периоды времени [9]. Среднегодовая температура воздуха составляет 0,8 °С (по данным ГУ «Томского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» с 2000 по 2012 гг.). В годовом ходе самая низкая средняя температура приходится на январь (-19,1 °С), а самая высокая — на июль (18,2 °С). Среднегодовое количество осадков 583 мм.

Информация о периоде наблюдений и многолетним данным по среднемесячным температурам воздуха представлена с метеостанции г. Томска (табл. 1).

Анализ погодных условий за годы наблюдений: весенних месяцев показал, что наибольшие отклонения среднемесячной температуры отмечены в апреле 2011 г. и в мае 2010 г.; летних месяцев — в июне—июле 2012 г.; осенних месяцев — в октябре 2011 г.; зимних месяцев — в январе—феврале 2010 г. и в декабре 2010—2012 гг.

Таким образом, каждый год наблюдения имел отклонения по среднемесячной температуре воздуха, а в июне—июле 2012 г. наблюдалась особо жаркая погода.

Количество осадков за годы наблюдений и многолетним данным приводятся в табл. 2.

В результате анализа данных можно сделать вывод о том, что наблюдался: дефицит осадков в январе 2010—2012 гг., в феврале 2012 г., в июле 2012 г., в августе 2011 г.; избыток осадков зафиксирован в июле 2011 г. почти в 2 раза по сравнению с среднемноголетними.

Можно отметить, что 2010 г. был самым холодным годом за период наблюдений, 2011 г. — самым теплым, а 2012 г. занимал промежуточное положение. В летние месяцы 2012 г. зафиксирована самая высокая среднемесячная температура воздуха, а также в июле наблюдался значительный недостаток осадков.

Средние фенологические даты у липы мелколистной и черемухи Маака в г. Томске приведены в табл. 3.

По данным фенологических наблюдений установлены следующие особенности у липы: начало вегетационного периода в 2010—2012 гг. произошло во второй декаде апреля, но в разные дни; продолжительность цве-

Таблица 1. Среднемесячные температуры воздуха в г. Томске (2010–2012 гг. и среднемноголетние)

| Годы | Месяц | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 2010 | -26,8 | -23,3 | -8,1 | 1,3 | 7,3 | 15,2 | 16,5 | 15,6 | 8,9 | 4,0 | -5,4 | -22,1 |
| 2011 | -21,9 | -14,3 | -5,8 | 6,5 | 10,4 | 19,4 | 15,5 | 14,0 | 10,4 | 5,3 | -8,5 | -13,0 |
| 2012 | -20,6 | -17,9 | -4,5 | 4,1 | 9,7 | 21,0 | 21,3 | 15,2 | 11,4 | 1,2 | -9,4 | -25,0 |
| Среднемноголетние | -19,1 | -15,5 | -6,0 | 2,0 | 10,3 | 17,2 | 18,2 | 15,3 | 8,7 | 2,0 | -7,2 | -16,8 |

Таблица 2. Среднемесячное количество осадков в г. Томске (2010–2012 гг. и среднемноголетние)

| Годы | Месяц | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII |
| 2010 | 7,2 | 14,2 | 42,8 | 33,8 | 41,2 | 46,4 | 72,4 | 44,9 | 45,0 | 26,4 | 71,3 | 64,5 |
| 2011 | 7,1 | 16,3 | 17,1 | 50,0 | 36,1 | 44,4 | 169,7 | 53,1 | 11,4 | 44,8 | 46,8 | 32,5 |
| 2012 | 9,0 | 2,6 | 37,4 | 27,5 | 48,3 | 31,8 | 24,3 | 77,5 | 66,8 | 64,9 | 70,4 | 32,9 |
| Среднемноголетние | 30,3 | 25,9 | 33,7 | 34,3 | 45,3 | 62,8 | 87,1 | 61,9 | 48,1 | 51,7 | 53,0 | 49,1 |

Таблица 3. Фенологические даты сезонного развития липы мелколистной и черемухи Маака

| Фенологическая фаза | Липа мелколиственная | | | Черемуха Маака | | |
|---------------------------------------|----------------------|---------|---------|----------------|---------|---------|
| | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. | 2010 г. | 2011 г. | 2012 г. |
| Набухание почек | 17.04. | 14.04. | 13.04. | 28.04. | 09.04. | 03.04. |
| Облиствение | 27.05. | 12.05. | 24.05. | 23.05. | 26.04. | 13.05. |
| Начало цветения | 16.07. | 20.06. | 28.06. | 03.06. | 19.05. | 28.05. |
| Окончание цветения | 31.07. | 06.07. | 12.07. | 15.06. | 02.06. | 05.06. |
| Начало осеннего расцветивания листьев | 12.09. | 04.09. | 21.07. | 05.09. | 01.09. | 26.08. |
| Массовый листопад | 27.09. | 16.09. | 18.08. | 23.09. | 11.09. | 19.09. |
| Период вегетации, дни | 164 | 156 | 128 | 149 | 156 | 170 |

тения составляет в 2010 г. 16 дней (с 16 по 31 июля), в 2011 г. — 17 (с 20 июня по 6 июля), в 2012 г. — 15 (с 28 июня по 12 июля); конец вегетационного периода зафиксирован в 2010 г. — 23 сентября, в 2011 г. — 16 сентября, в 2012 г. — 18 августа.

Установлены фенологические особенности черемухи следующие: во все годы наблюдений начало вегетационного периода зафиксировано в апреле, но в 2010 г. — в третьей декаде, а в 2011 и 2012 гг. — в первой декаде; продолжительность цветения составляет в 2010 г. — 13 дней (с 3 по 15 июня), в 2011 г. — 15 (с 19 мая по 2 июня), в 2012 г. — 9 (с 28 мая по 5 июня); конец вегетационного периода отмечен в 2010 г. — 23 сентября, в 2011 г. — 11 сентября, в 2012 г. — 19 сентября.

Необходимо отметить, что средняя продолжительность вегетационного периода в Томске — от 148 до 203 дней [10]. В годы наблюдений длительность периоды вегетации липы варьирует от 128 до 164 дней и черемухи — от 149 до 170 дней. Наименьший период вегетации отмечен:

у липы в 2012 г. — это объясняется тем, что в летние месяцы была жаркая засушливая погода, что привело к раннему расцвечиванию листьев и их опаданию; у черемухи в 2010 г. — это связано с весенними заморозками и позднему сходу снежного покрова.

Выводы

Наступление начальной (развержение почек) и заключительной (массовый листопад) фаз вегетации у липы мелколистной и черемухи Маака в значительной степени зависит от метеоусловий конкретного года. При этом роль биологических особенностей у интродуцированной древесной растительности в начале сезонного развития практически незначительна, но, начиная с фенологической фазы цветения и до конца вегетации — эта роль существенно возрастает. Последовательность прохождения фенологических фаз интродуцированными видами из года в год сохраняется.

Литература:

1. Святский Д. О. Фенология в краеведческой работе. Сезонные наблюдения и их обработка, справочное руководство краеведа. Л., 1926. 105 с.
2. Хргиан А. Х. Очерки развития метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1948. 349 с.
3. Тихомиров Е. И. Из истории метеорологических наблюдений в Сибири в XVIII веке // Климат и погода. 1929. № 4 (25). С. 101–111.
4. Слуцкий В. И. История метеорологии в Томском университете. Учебное пособие. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 1998. 100 с.
5. Крюкова К. А., Пинаева Н. В. История фенологических наблюдений в Томске и Томской губернии // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 1 (21). С. 191–197.
6. Сергиевская Л. П. Фито-фенологические наблюдения, проведенные в Томске и его окрестностях в 1919–21, 1923–25 гг. // Известия Томского государственного университета. 1926. Т. 77. 84 с.
7. Бейдеман И. Н. Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск: Наука, 1974. — 153 с.
8. Булыгин Н. Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Пособие по проведению учебно-научных исследований. Л.: ЛТА, 1979. — 96 с.
9. Климат Томска. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 176 с.
10. Рутковская Н. В. География Томской области (сезонно-агроклиматические ресурсы). Томск: Томский университет, 1984. — 158 с.

МЕДИЦИНА

Особенности пострального баланса у городских пожилых мужчин, занимающихся садоводством и огородничеством

Дёмин Александр Викторович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;

Сидорова Ольга Васильевна, аспирант, врач-невролог;

Волова Алёна Александровна, студент

Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова (г. Архангельск)

Введение. Обеспечение высокого уровня здоровья пожилых людей, увеличение продолжительности жизни и улучшение ее качества — актуальные задачи, стоящие перед современным российским обществом [6]. Сохранение высокого уровня физической активности после прекращения трудовой деятельности и выхода на пенсию является одним из важных показателей, определяющих уровень «успешного старения» [12]. В предыдущем исследовании уже было установлено, что сохранение должного уровня физической активности на пенсии будет оказывать положительное влияние на сохранение пострального баланса и стабильности пожилых мужчин [5]. Известно, что одним из самых простых способов сохранения физической активности пенсионеров является активное вовлечение их в занятия садоводством и огородничеством [12]. Поэтому **целью данной работы** было выявление особенностей пострального баланса у пожилых мужчин, активно занимающихся садоводством и огородничеством.

Материалы и методы исследования. Были обследованы 78 мужчин в возрасте 61–74 года (средний возраст $66,6 \pm 4,6$). В исследование не были включены лица, находящиеся на учете в психоневрологических диспансерах, имеющие в анамнезе инсульты, черепно-мозговые травмы, деменцию и сахарный диабет, а также лица, постоянно проживающие в домах престарелых. Кроме этого, в исследование не были включены лица, испытавшие хотя бы одно падение в течение 12 месяцев. В первую группу — группу исследования (ГИ) — составили неработающие городские пожилые мужчины, занимающиеся садоводством и огородничеством, в ведении которых находились приусадебные или дачные участки, и они активно, круглогодично, занимались ими. Во вторую группу — группу сравнения (ГС) — вошли неработающие городские по-

жилые мужчины, которые не занимались садоводством и огородничеством и вообще не имели ни приусадебных, ни дачных участков. Кроме того, в эту группу были включены неработающие городские пожилые мужчины, которые сообщили о том, что не имеют никаких постоянных увлечений на пенсии. Группы были сформированы таким образом, чтобы календарный возраст (КВ) респондентов в ГС был идентичным КВ респондентов в ГИ.

Для вычисления темпа старения (ТС) использовали формулы определения биологического и должного биологического возраста по В.П. Войтенко, 3-й вариант [7]. Кроме того, у пожилых лиц определяли субъективно-переживаемый возраст (СПВ), который определялся путем опроса респондентов, на сколько лет они себя чувствуют. Данный показатель зависит от напряженности, событийной наполненности и удовлетворенности жизнью, переживаний и воспринимаемой степени самореализации стареющего человека и его социально-экономического статуса [3, 6].

Для оценки пострального баланса использовали компьютерный стабиллографический комплекс «Стабило-тест СТ-01», разработанный ЗАО «ВНИИМП ВИТА». Исследования проводили в двух положениях, последовательно по 30 секунд в каждом, перерыв между исследованиями был 3 минуты: с открытыми глазами (ОГ), при этом испытуемый фокусировал взгляд на специальном маркере на расстоянии 3 метра прямо перед глазами (в таком положении ведущие афферентные каналы — зрительный, проприоцептивный и вестибулярный — работают со своими естественными приоритетами и внутренними обратными связями); с закрытыми глазами (ЗГ), что соответствует блокированию биологической обратной связи зрительной модальности и повышает нагрузки на

остальные афферентные каналы. В исследовании регистрировали фронтальные и сагиттальные стабиллограммы общего центра масс (ОЦМ), на основе которых вычисляли следующие показатели: средняя скорость ОЦМ ($V_{ср}$, мм/с); средний радиус отклонения ОЦМ ($R_{ср}$, мм); среднее смещение ОЦМ по фронтальной (L_x , мм) и сагиттальной плоскости (L_y , мм); средний полупериод колебаний ОЦМ во фронтальном (T_x , с) и сагиттальном (T_y , с) направлениях, отражающий время возвращения ОЦМ в равновесное положение.

Перед анализом статистических данных полученных результатов исследования была выполнена проверка распределения количественных признаков на подчинение закону нормального распределения. В связи с тем, что не во всех выборках обнаружено нормальное распределение показателей, параметры по группам были оценены и представлены медианой (Me) и процентильным интервалом 25–75 ($Q1-Q3$). Для сравнения групп и исследования связей использовали непараметрические методы (тест Манна-Уитни — для сравнения двух независимых выборок и тест Вилкоксона — для сравнения двух зависимых выборок). Пороговый уровень статистической значимости принимался при значении критерия $p < 0,05$. Статистическую обработку полученных данных производили с использованием компьютерной программы «SPSS 14» [1].

Результаты исследования. Анализ ТС у обследованных лиц выявил (таблица 1), что показатели ТС в ГС были выше, чем у лиц в ГИ ($p = 0,04$). Таким образом,

установлено, что пожилые мужчины в ГИ имеют более низкие показатели ТС, чем мужчины в ГС.

Во всех группах СПВ был меньше КВ, при этом в ГИ показатели СПВ были ниже, чем в ГС ($p = 0,05$). Установлено, что городские пожилые мужчины в ГИ характеризуют свое возрастное самосознание немного моложе, чем городские мужчины того же возраста в ГС.

Сравнительная оценка количественных показателей компьютерной стабиллометрии (КС) у обследованных мужчин выявила, что в ГС в пробе с ОГ показатели $V_{ср}$ ($p = 0,01$), $R_{ср}$ ($p = 0,01$) и L_x ($p = 0,05$) были больше, а показатель T_y ($p = 0,02$) — меньше по сравнению с таковыми в ГИ. При анализе количественных показателей КС в пробе с ЗГ также установлено, что у лиц в ГС показатели $V_{ср}$ ($p = 0,007$), $R_{ср}$ ($p = 0,01$) и L_x ($p = 0,03$) были больше, а показатель T_y ($p = 0,05$) — меньше по сравнению с таковыми в ГИ. На основании анализа результатов количественных показателей КС можно сделать вывод, что пожилые мужчины в ГИ имеют более устойчивую вертикальную позу, чем мужчины того же возраста в ГС.

Сравнение проб с ОГ и ЗГ выявило, что во всех группах в пробе с ЗГ происходит увеличение показателей $V_{ср}$, $R_{ср}$ ($p < 0,001$) и L_y ($p = 0,01$, $p = 0,02$ соответственно), а также уменьшение показателей T_x и T_y ($p = 0,001$). Полученные результаты еще раз доказывают важность зрительной информации в постуральном контроле при старении.

Таблица 1. Сравнительные особенности показателей компьютерной стабиллометрии у городских пожилых мужчин, занимающихся (группа исследования) и не занимающихся (группа сравнения) садоводством и огородничеством

| Показатель | Группа исследования $Me (Q1-Q3) n=39$ | p^1 | Группа сравнения $Me (Q1-Q3) n=39$ | p^2 | p^3 |
|-------------------|--|-------------|---------------------------------------|-------------|-------------|
| КВ, лет | 66,1 (62–70,7) | – | 66 (62–70,6) | – | $p = 0,9$ |
| ТС, лет | 6 (5–8) | – | 7 (6–10) | – | $p = 0,04$ |
| СПВ, лет | 64 (58–66,5) | – | 65 (59–68) | – | $p = 0,05$ |
| Проба с ОГ | | | | | |
| $V_{ср.}$, мм/с | 18,5 (16–20) | – | 19,1 (17–21) | – | $p = 0,01$ |
| T_x , с | 2 (1,9–2,2) | – | 2 (1,8–2,1) | – | $p = 0,07$ |
| T_y , с | 2 (1,8–2,1) | – | 1,9 (1,7–2) | – | $p = 0,02$ |
| L_x , мм | 2,1 (-1...3) | – | 3 (1...5) | – | $p = 0,05$ |
| L_y , мм | -13 (-20...-11) | – | -12 (-19...-10) | – | $p = 0,1$ |
| $R_{ср.}$, мм | 5,5 (4,9–5,7) | – | 5,7 (5–6) | – | $p = 0,01$ |
| Проба с ЗГ | | | | | |
| $V_{ср.}$, мм/с | 19,4 (17–22) | $p < 0,001$ | 20,2 (18–23) | $p < 0,001$ | $p = 0,007$ |
| T_x , с | 1,9 (1,8–2,1) | $p = 0,001$ | 1,9 (1,8–2) | $p = 0,001$ | $p = 0,09$ |
| T_y , с | 1,8 (1,7–1,9) | $p = 0,001$ | 1,8 (1,6–1,7) | $p = 0,001$ | $p = 0,05$ |
| L_x , мм | 3 (-2...4) | $p = 0,09$ | 4 (3...7) | $p = 0,01$ | $p = 0,03$ |
| L_y , мм | -10 (-18...-9) | $p = 0,01$ | -10 (-17...-8) | $p = 0,02$ | $p = 0,2$ |
| $R_{ср.}$, мм | 5,9 (5,4–6,6) | $p < 0,001$ | 6,1 (5,6–6,7) | $p < 0,001$ | $p = 0,01$ |

Примечание: p — статистическая достоверность различий: p^1 — по сравнению с пробой с открытыми глазами в группе исследования; p^2 — по сравнению с пробой с открытыми глазами в группе сравнения; p^3 — между группами исследования и сравнения.

Обсуждение результатов. В результате проведенных исследований выявлено, что сохранение должного уровня физической активности, а также любая деятельность на пенсии оказывает положительное влияние на физиологические процессы старения у пожилых мужчин. В ГС увеличение показателей ТС связано в первую очередь с теми пожилыми мужчинами, которые прекратили свою трудовую деятельность и не имели никаких постоянных увлечений на пенсии. Таким образом, установлено, что прекращение трудовой деятельности, уменьшение уровня физической активности, а также отсутствие какой-либо деятельности на пенсии будет сопровождаться снижением у пожилых мужчин адаптационных и функциональных возможностей их организма. Полученные результаты еще раз доказывают необходимость мероприятий направленных на профилактику ускоренного старения у людей пожилого и старческого возраста [2, 6].

Анализ показателей СПВ позволяет сделать вывод, что пожилые мужчины в ГИ характеризуют свое психологическое и социально-экономическое благополучие немного выше, чем мужчины того же возраста в ГС. Таким образом, занятия садоводством и огородничеством оказывают положительное влияние на психологическое и социально-экономическое благополучие пожилых мужчин. Некоторые исследователи отмечают, что снижение физической активности у пожилых людей негативно отражается на психологическом здоровье и в дальнейшем может сопровождаться развитием у них депрессии, а также повышением риска преждевременной смертности [10, 13]. Результаты исследования обосновывают важную задачу для специалистов в области медико-социальной работы с пожилыми людьми — создание таких условий работы, при которых у них сохранялся бы должный уровень физической активности, которую следует рассматривать как залог «успешного старения». Кроме того, полученные данные доказывают важность дальнейшего развития геронтопсихологии, как научно-практической отрасли, нацеленной на решение психоэмоциональных проблем, с которыми сталкиваются люди при старении. В предыдущих работах нами было отмечено, что СПВ является не только отражением состояния здоровья и удовлетворенности жизнью пожилого человека, но и коррелятом всего качества его жизни [3, 4, 6]. Таким образом, полученные результаты исследования позволяют сделать вывод, что сохранение должного уровня физической активности, а также любой деятельности на пенсии будет оказывать благоприятное воздействие на уровень и качество жизни пожилых мужчин.

Анализ показателя средней скорости ОЦМ у обследованных лиц свидетельствует о том, что снижение физической активности у пожилых мужчин негативно отражается на состоянии их постурального баланса. Результаты исследования еще раз доказывают, что сохранение должного уровня физической активности после выхода на пенсию оказывает положительное влияние на сохранение постурального баланса у пожилых мужчин [5].

Установлено, что у лиц в ГС во всех функциональных пробах происходит увеличение показателей среднего радиуса отклонения ОЦМ по сравнению с лицами того же возраста в ГИ. Данный показатель характеризует состояние функции постуральной стабильности [4, 5]. На основании полученных результатов исследования можно сделать вывод, что снижение уровня физической активности на пенсии приводит к снижению функции постуральной стабильности у городских пожилых мужчин и повышает риск падений. Некоторые исследователи отмечают, что городская среда сама по себе является серьезным и множественным экологическим фактором, повышающим риск падений для пожилых людей [11]. Можно предположить, что у городских пожилых людей с низким уровнем физической активности будет повышаться роль окружающей среды в качестве одного из факторов риска падений. Полученные данные диктуют требования к разработке комплекса мер, направленных на профилактику постуральной нестабильности и факторов риска падений у пожилых людей с низким уровнем физической активности. Занятия садоводством и огородничеством следует рассматривать как профилактическую стратегию, благоприятно оказывающую влияние на постуральный баланс и стабильность пожилых лиц.

Выявлено, что у лиц в ГС во всех функциональных пробах показатели среднего полупериода колебания ОЦМ в сагиттальной плоскости были меньше, а показатели среднего смещения ОЦМ в сагиттальном направлении — больше, чем у мужчин того же возраста в ГИ. S. Clark, D.J. Rose [9] отмечают, что мышцы нижних конечностей, а также мышцы спины играют существенную роль в корректировке баланса в сагиттальной плоскости. Таким образом, сохранение должного уровня физической активности будет оказывать положительное влияние на функционирование мышечной системы пожилых мужчин. В исследовании E. C. Vryant с соавторами отмечается, что у пожилых лиц, прекращающих трудовую деятельность, наблюдается большой диапазон смещения ОЦМ [8]. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что снижение физической активности у пожилых мужчин приводит к значительному смещению ОЦМ в сагиттальном направлении. Оценку данного показателя у пожилых людей с разным уровнем физической активности целесообразно учитывать как критерий изменения постурального баланса после прекращения трудовой деятельности и выхода на пенсию.

Заключение. Таким образом, занятия садоводством и огородничеством имеют положительное влияние на постуральный баланс и стабильность пожилых мужчин, и на их социально-экономическое благополучие и качество жизни. Полученные результаты исследования еще раз обосновывают необходимость разработки социальной программы, направленной на посттрудоустройство и социализацию пенсионеров, прекративших свою трудовую деятельность. Кроме того, необходима социально-экономическая программа, стимулирующая пожилых лиц к активной работе на своих приусадебных или

дачных участках. Вовлечение пенсионеров, проживающих в домах престарелых, в занятия садоводством и огородничеством будет также полезно для сохранения у них постурального баланса и стабильности. От реализации данных программ будет зависеть здоровье пожилых людей, продолжительность и качество их жизни.

Литература:

1. Бююль А., Цефель П. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: «Пер с нем». — Спб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. — 608 с.
2. Голубева Е. Ю., Данилова Р. И. Характеристика темпов старения у лиц пожилого возраста на Европейском Севере // Успехи геронтологии. — 2012. — Т. 25. № 1. — С. 45–48.
3. Дёмин А. В. Особенности качества жизни у мужчин 60–89 лет в зависимости от уровня возрастной самооценки // Медицинские науки. — 2012. — № 3. — С. 14–18.
4. Дёмин А. В. Функциональные особенности постурального контроля у мужчин пожилого и старческого возраста в зависимости от возрастной самооценки // Врач-аспирант. — 2011. — № 2.1 (45). — С. 172–179.
5. Дёмин А. В., Грибанов А. В. Особенности постурального баланса у работающих и неработающих пожилых мужчин // Врач-Аспирант. — 2013. — № 1 (56). — С. 34–39.
6. Дёмин А. В., Кривецкий В. В., Фесенко В. В. Особенности качества жизни у мужчин старших возрастных групп с разными темпами старения // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 7–2. — С. 296–299.
7. Маркин Л. Д. Определение биологического возраста методом по В. П. Войтенко. Учебно-методическое пособие для студентов медиков и психологов. Владивосток: Владивостокский гос. мед. ун-т, 2001. — 29 с.
8. Bryant E. C., Trew M. E., Bruce A. M., Kuisma R. M., et al. Gender differences in balance performance at the time of retirement // Clinical biomechanics (Bristol Avon). — 2005. — Vol. 20, № 3. — P. 330–335.
9. Clark S., Rose D. J. Evaluation of dynamic balance among community-dwelling older adult fallers: A generalizability study of the limits of stability test // Archives of physical medicine and rehabilitation. — 2001. — Vol. 82, № 4. — P. 468–474.
10. Penninx B. W., Guralnik J. M., Ferrucci L., Simonsick E. M., et al. Depressive symptoms and physical decline in community-dwelling older persons // The Journal of the American Medical Association (JAMA). — 1998. — Vol. 279, № 21. — P. 1720–1726.
11. Poh-Chin L., Martin W., Ming-Houng C., et al. An ecological study of physical environmental risk factors for elderly falls in an urban setting of Hong Kong // The Science of the total environment. — 2009. — Vol. 407, № 24. — P. 6157–6165.
12. Spirduso W. W., Francis K. L., MacRae P. G. Physical Dimensions of Aging. 2nd Edition. — Champaign. Illinois. USA: Human Kinetics, 2005. — 384 p.
13. Wang L., van Belle G., Kukull W. B., Larson E. B. Predictors of functional change: a longitudinal study of nondemented people aged 65 and older // Journal of the American Geriatrics Society. — 2002. — Vol. 50, № 9. — P. 1525–1534.

Методы диагностики нарушений окклюзионных контактов зубов (обзор литературы)

Лысейко Назар Владимирович, ассистент

Национальный медицинский университет имени А. А. Богомольца (г. Киев, Украина)

В статье представлен краткий обзор литературы отечественных и зарубежных авторов, касающийся вопросов диагностики нарушений окклюзионных контактов между зубными рядами. Известно, что нарушения окклюзионных взаимоотношений играют важную роль в патогенезе многих стоматологических заболеваний, поэтому качественная диагностика и своевременное устранение окклюзионной травмы благоприятно влияют на процесс лечения.

Ключевые слова: диагностика, нарушения окклюзионных контактов, профилактика.

Актуальность исследования. Качественная диагностика окклюзии является одной из основных задач в современной стоматологии. Довольно часто неудовлетворительное качество проведенного лечения связано со сложной диагностикой нарушений окклюзии,

а именно, использование устаревших методов для выявления нарушений окклюзионных соотношений. Именно исследования новейших методов диагностики расстройств окклюзии является актуальной задачей современной стоматологии.

Цель исследования. Проанализировать и обобщить данные источников литературы отечественных и зарубежных авторов относительно современных методов исследования нарушений окклюзии зубов.

Результаты исследования. Проблема выравнивания окклюзионных поверхностей зубов известна с давних времен. Еще в 1797 году Плен (Plenk JJ) отметил, что в прошлом было известно о коррекции окклюзии.

Проблема окклюзии является одной из основных в современной стоматологии и не имеет свойственного другим направлениям науки, волнообразного проявления интереса со стороны ученых. К сожалению, наиболее существенные окклюзионные проблемы проявляются только через 3–5 лет после проведенного протезирования, и почти никогда не связываются с ним. Таким образом, такие нарушения пытаются лечить как проявление самостоятельного заболевания, что приводит только к ухудшению ситуации. [1, 2, 10]

Одним из самых распространенных методов окклюзионной диагностики является метод окклюдодиагностики с его качественной и количественной характеристикой при использовании различных способов анализа: визуальный, квазипланиметрический, метод флуоресценции окклюзионных пластин, фотоокклюзия с последующим визуальным контролем в поляризованном свете, контактное перенесение окклюдодиаграммы с миллиметровой сеткой на фотобумагу [4].

Парм, еще в 1960 году, предлагал проверять смыкания фронтальных зубов при их медленном контактировании к появлению множественных контактов. В норме, при интактном пародонте первыми в контакт вступают центральные резцы, затем боковые, а за ними — клыки. Правильная последовательность смыкания фронтальных зубов проверяется с помощью бумажных лент. Их накладывают между антагонистами, и при смыкании зубов они смыкаются в такой последовательности. При патологических окклюзиях такая последовательность смыкания зубов нарушается.

Достаточно сложную технологию изучения и коррекции окклюзионных взаимоотношений предложил автор Тельчаров Д. И. [7]. Для выявления участков преждевременных контактов он рекомендует использовать бумажные ленты длиной около 5 см, половина которых пропитана краской. Окрашенная часть ленты размещается между резцами и клыками. Далее просим пациента сомкнуть зубы в положении центральной окклюзии, и проверяем, последовательность контактирования резцов и клыков, получая при этом окрашенные места контактов. По интенсивности окраски судят о наличии супраконтактов.

Возможно пальпаторно определять смещение зубов под действием давления зубов-антагонистов: на вестибулярную поверхность зубов накладывают подушечки указательного и среднего пальцев. Просим пациента сомкнуть зубы. Те зубы, которые преждевременно вступают в контакт с антагонистами, смещаются вестибулярно раньше других, это чувствуется в виде толчков [3,4].

В. С. Голубева (1968), определяла функционально перегруженные зубы, с помощью копировальной бумаги, которую сгибала в два слоя, окрашивающими поверхностями к окклюзионным поверхностям зубов. Сначала изучается характер смыкания резцов в протрузии: окклюзионную бумагу помещала между передними зубами, пациент из положения центральной окклюзии медленно смещал зубы в положение передней окклюзии, к сопоставлению резцов стык-в-стык. При этом, на небных поверхностях верхних резцов и губных поверхностях нижних в участках наибольшего трения будет интенсивное окрашивание контактов. Участки с наиболее интенсивным закрашиванием сошлифовывают. Процедуру проводят до тех пор, пока не будет достигнуто равномерного одновременного множественного контакта между резцами и клыками в передней окклюзии. Далее проводят выявление и коррекцию преждевременных контактов в центральной и боковых окклюзиях. М. Фуш (1960) перед наложением копировальной бумаги подогревал его. Это позволяло пропечатываться наиболее густым слоям краски. По мнению В. С. Голубевой, коррекция окклюзионной поверхности зубных рядов должна проводиться в течение 2–4 месяцев: при каждом посещении врач постепенно сошлифовывает твердые ткани зуба. Другие авторы рекомендуют проводить пришлифовывание в 3–4 посещения пациента, нанося фтористый лак после каждого посещения [8].

Парм (1960) описывает методику получения окклюдодиаграммы с помощью пластинок воска. Для выявления супраконтактов и контроля качества пришлифовывания окклюзионных соотношений зубов-антагонистов Спирги (Spirgi) предложил аппарат для фиксации восковой пластинки. С помощью этого аппарата восковая пластинка вводится в полость рта пациента и позволяет получать окклюдодиаграммы без деформации.

Новые возможности изучения состояния окклюзии появились с использованием денситометров — приборов для исследования плотности плоских объектов в проходящем или отраженном свете [9]. Для регистрации и исследования окклюзионных контактов используют окклюдодиаграммы, изготовленные по следующей методике: в проволочной рамке, по форме и размеру зубных дуг размещают зуботехнический воск, толщиной 2 мм, светопрозрачность которого доводят до нулевого уровня. Разогретую заготовку вводят в полость рта пациента и просят сомкнуть зубы в положении центральной окклюзии. После охлаждения, из полученной окклюдодиаграммы делают фотографии в масштабе 1:1.

Полный анализ окклюдодиаграммы удастся провести на сканирующем денситометре «Chromoscan-3» (Великобритания), который позволяет получать не только графическое изображение регистратов, но и площадь, и плотность окклюзионных контактов, интегрировать эти величины. Это дает возможность провести сравнительный анализ общей плотности окклюзионных контактов до и после ортопедического или ортодонтического лечения, определять показатель средней величины их прироста, сравни-

вать площадь контактов до и после протезирования. По мнению авторов, при определении доминирующей стороны жевания эта методика дает объективную информацию, позволяющую с помощью клинических проб достоверно определить тип жевания и вносить соответствующие коррективы при протезировании. Несмотря на такое количество методов коррекции окклюзионных соотношений, хочется отметить мнение некоторых специалистов, что в норме сила жевательных мышц меньше силы опорной функции кости, то есть силы фиксации зуба, и коррекцию окклюзии проводить не нужно [10].

Практически все существующие до сих пор методы коррекции окклюзии базируются на субъективных ощущениях пациента «комфортно ли смыкать зубы». Однако ощущения пациента не должны быть основным ориентиром при проведении окклюзионных коррекций. Необходимо учитывать и исследовать такие факторы, как сила контакта, процентное соотношение контактов, время контактирования, суммарный вектор нагрузок, равнодействующая окклюзионных сил, вообще все то, что в современной литературе принято называть компонентами баланса окклюзии [8].

Значительный интерес клиницистов и ученых привлекает возможность применения высокоточных измерительных приборов. Известны работы по исследованию окклюзионных давлений в зубочелюстной системе с применением пьезоэлектрических кристаллов, сенсорных пленок, тензодатчиков и т. д. [5, 13, 16, 17].

Благодаря развитию компьютерных методов диагностики появилась возможность мониторинга в режиме реального времени всех компонентов исследованной и воспроизводимой окклюзии. Среди наиболее современных систем диагностики окклюзионных взаимоотношений зубных рядов, которые могут быть использованы в клинике является аппаратно программный комплекс «T-Scan III» и измерительные пленки Fuji Prescale [13, 16].

В 1987 году впервые разработан специальный датчик по форме зубной дуги и на основе этого датчика был создан аппарат «T-Scan». В настоящее время доступна третья версия комплекса — «T-Scan III», которая позволяет определять последовательность, синхронность, площадь и силу каждого контакта. Данный комплекс может измерять силу с учетом времени, что необходимо для анализа динамической окклюзии непосредственно в полости рта пациента (рис. 1). Этот метод является более точным и информативным, в отличие от анализа окклюзии на моделях челюстей в артикуляторе [6].

Технология T-Scan III применяется на всех этапах лечения зубов, связанных с диагностикой и коррекцией окклюзии, и является единственным количественным методом анализа окклюзии, что применяется на практике [16]. Сравнение контактов проводится в центральном соотношении, максимальном межбугорковом положении, а также при протрузии, правой и левой латеротрузиях. Также хочется отметить возможность отображения аналитических данных, таких как «Центр силы» и «Центра траектории силы», что позволяет всесторонне оценивать общий баланс окклюзии, который является основным для планирования и контроля лечебного процесса [13,15,18].

Также хочется обратить внимание на исследования окклюзионных взаимоотношений с помощью измерительных пленок Fuji Prescale [13,15]. Данный метод основан на анализе интенсивности окраски отпечатков, полученных при смыкании зубов.

Принцип метода следующий. Пленка Fuji Prescale содержит микрокапсулы с красителем, которые под действием жевательного давления разрушаются, что в свою очередь, приводит к образованию устойчивой красной окраски в месте контакта (Рис. 2). Интенсивность окраски меняется в диапазоне от бледно-розового до ярко-красного и пропорциональна силе контакта. Для точного оп-



Рис. 1. Исследование окклюзионных контактов зубов, возникающие при смыкании с помощью устройства T-Scan III



Рис. 2. Отпечаток контактной поверхности зубов, полученный с помощью измерительных пленок в состоянии боковой окклюзии

ределения силы необходимо сравнивать интенсивность окраски с калибровочным шаблоном, учитывающим температуру и влажность, которые должны соответствовать условиям проведения опыта.

Для исследования используют пленку типа MS, работающей в диапазоне 10–50 МПа. Отпечатки, полученные на измерительной пленке, оцифровываются с помощью сканера с разрешением 300 точек на дюйм. Полученное изображение переносится в компьютерную программу, которая позволяет производить обработку изображений окклюзионных контактов, зарегистрированных *in vivo*, со-

гласно известному диапазону градиента давлений. В результате получают данные, что допускают рассчитать силу прикуса путем интегрирования.

Выводы. С развитием компьютерных систем исследований и диагностики значительно расширились возможности диагностического процесса, профилактики и лечения нарушений межокклюзионных взаимоотношений. В свою очередь, это благоприятно влияет на исход лечения, в значительной мере повышается эффективность лечения, резко снижается количество осложнений вызванных нарушениями окклюзии.

Литература:

1. Балин В. Н., Иорданишвили А. К. Вторичные деформации жевательного аппарата и методы их ортопедического лечения: Лекция. — СПб: МЗ и МП РФ, 1994. — 16 с.
2. Балин В. Н., Иорданишвили А. К., Ковалевский А. М. Практическая периодонтология. — СПб: Питер Пресс, 1995. — 272 с.
3. Лебеденко И. Ю., Ибрагимов Т. И., Ряховский А. Н. Функциональные и аппаратные методы исследования в ортопедической стоматологии. — Москва: Медицинское информационное агенство, — 2003. — 127 с.
4. Лебеденко И. Ю., Арутюнов С. Д., Антоник М. М., Ступников А. А. — Клинические методы диагностики функциональных нарушений зубочелюстной системы. — Москва: Медпресс-информ, 2006. — 105 с.
5. Матрос-Таранец И. Н. Биомеханические исследования в экспериментальной стоматологии/ Матрос-Таранец И. Н. — Донецк 1998.-122 с.
6. Сейфоллахи М. Підготовка бічних зубів під суцільнокерамічні вкладки / М.Сейфоллахи // Новини стоматології. — Львів:2008. — № 2. — С. 78–87.
7. Тельчаров Д. I., Нормализация окклюзии, ортодонтическое и ортопедическое лечение заболеваний пародонта, 2000, — с. 324.
8. Хватова В. А. Гнатологические принципы в диагностике и лечении патологии зубочелюстной системы. Новое в стоматологии. 2001. № 1. С. 96
9. Хихинашвили Л. И. Новый способ оценки состояния окклюзионных контактов методом сканирующей денситометрии окклюзограмм. Новые методы диагностики и результаты их внедрения в стоматологическую практику. 1991, С. 207–208

10. Шварц Д.А. Биомеханика и окклюзия в ортопедической стоматологии. Зубоврачебный вестник. 1992. № 1. С. 11–13.
11. Шварц Д.А. Значение окклюзии при протезировании зубов. Стоматология. 1994. Т.72. № 2. С. 76–80.
12. Шептелич И. М., Бырса Г. Г. Роль избирательной пришлифовки зубов в комплексном лечении пародонтита // Сб. «Вопросы стоматологии». — Кишинев, 1989. — С. 64–65.
13. Bachus KN, DeMarco AL, Judd KT, Horwitz DS, Brodke D.S. Measuring contact area, force, and pressure for bioengineering applications: using Fuji Film and TekScan systems. Med Eng Phys. 2006; 28 (5):483–8.
14. Bachus KN, DeMarco AL, Judd KT, Horwitz DS, Brodke D.S. Measuring contact area, force, and pressure for bioengineering applications: using Fuji Film and TekScan systems. Med Eng Phys. 2006; 28 (5):483–8.
15. Bates J.F., Stafford G.D., Harrison A. Masticatory function — a review of the literature. 2. Speed of Movement of the Mandible. Rate of chewing and forces developed in chewing. J. Oral Rehabil., 1975 Vol.2, P.349–361
16. Koos B, Godt A, Schille C, Göz G Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch J Orofac Orthop. 2010 Nov;71 (6):403–10. Epub 2010 Nov 17. English, German.
17. Koos B, Godt A, Schille C, Göz G. Precision of an instrumentation-based method of analyzing occlusion and its resulting distribution of forces in the dental arch. J Orofac Orthop. 2010;71 (6):403–10.
18. Mizui M Quantitative analysis of occlusal balance in intercuspal position using the T-Scan system / Mizui M., Nabeshima F., Tosa J., Tanaka M., Kawazoe T. // Int J Prosthodont 1994. — No7. — P. 62–71.

Роль мультidetекторной компьютерной томографии в диагностике и дифференциальной диагностике кистозных образований почек

Степаненко Наталия Александровна, врач-радиолог, заведующая отделением
ГУ «Институт урологии НАМН Украины» (г. Киев)

Киста почки — одно из наиболее часто встречающихся поражений почки. МДКТ является методом, который дает возможность определить характеристики, оценить кистозные образования почек в соответствии с классификацией Bosniak и провести дифференциальную диагностику выявленных изменений, что является ключевым для выбора оптимальной тактики ведения пациента и объема оперативного вмешательства. Однако атипичные и сомнительные почечные кисты остаются сложной диагностической проблемой, решить которую может совершенствование алгоритма обследования таких больных.

Renal cyst — one of the most common kidney lesions. MDCT is a technique that makes it possible to determine the characteristics, to assess renal cystic formation in accordance with the Bosniak classification and differential diagnosis of changes detected, which is the key to select the optimal strategy of management of the patient and the extent of surgical intervention. But, atypical and doubtful renal cysts are difficult diagnostic problem, solve it can improve the algorithm of inspection of such patients.

Введение. Простая киста почки — доброкачественное тонкостенное объемное образование, имеющее фиброзную капсулу и эпителиальную выстилку, развивающееся из паренхимы почки и содержащее, как правило, серозную жидкость. Простые кисты встречаются в 2 раза чаще у женщин, и их количество увеличивается с возрастом [1]. Примерно в 10–15% случаев почечно-клеточный рак может быть представлен кистозной жидкостной структурой с неоднородным содержимым, что обусловлено распадом опухоли, внутренним ростом кисты, переросшей в опухоль (мультилокулярная карцинома, кистаденокарцинома) и наличием злокачественных новообразований в кисте. И приблизительно 5–7% объемных образований почек нельзя четко охарактеризовать с по-

мощью современных методов визуальной диагностики [2]. К ним можно отнести образования, которые не являются ни простыми почечными кистам, ни солидными структурами. Эти неопределенные образования могут быть как злокачественной, так и доброкачественной природы. Задача врача состоит в дифференциальной диагностике осложненной кисты со злокачественным поражением почки (рак в кисте) и простой кисты почки для выбора тактик лечения: при наличии опухоли — оперативное лечение, наличие кисты — динамическое наблюдение.

В настоящее время нет определенных алгоритмов диагностики и дифференциации кистозных форм рака почки и осложненных кист почек, в связи с чем требуются изучение и выработка подходов к диагностике и ле-



Рис. 1. Кисты почек по классификации Bosniak

чению этой категории больных. Кистозные образования, с учетом трудностей при дифференциальной диагностике доброкачественных кист и кистоподобных форм рака почки, оценивались по классификации **Bosniak**, [3, 4] который предложил классификацию атипичных кистозных образований почки. Эта классификация основана на данных компьютерной томографии и предполагает определенную лечебно-диагностическую тактику:

Bosniak — I (простая доброкачественная киста) — 0% малигнизации:

1. Чаще единичная.
2. Округлая.
3. Нет утолщений, кальцификации стенки и тканевого компонента.
4. Нет накопления контрастирующего препарата.
5. Водосодержащая.
6. Меткий и ровный контур, прилежащий к паренхиме.
7. Не требуют наблюдения.

В дополнение к классическим простым почечным кистам (категория I) он ввел понятие «минимально осложненной» кисты (категория II), которая не требует хирургического лечения.

Bosniak — II (минимально сложная киста) — 0% малигнизации:

1. Одна или две перегородки.
 2. Тонкостенная (до 1 мм).
 3. Мелкоочаговая кальцификация стенок или перегородок.
 4. Нет накопления контрастирующего препарата (возможно минимально визуализируемое накопление, но не измеримое).
 5. Возможно белковое или геморрагическое содержимое (гиперденсные), но не более 3 см в диаметре.
- Кардинальной особенностью кист II категории по

Bosniak является отсутствие контрастного усиления внутреннего содержимого, стенок и внутрисполостных перегородок.

Наиболее часто трудности возникают с дифференциальной диагностикой жидкостных образований категории II и III, определением тактики лечения больных с кистами категории II в связи с неоднозначностью данных обследования.

Bosniak — II F — особая категория (F — от англ.

«follow-up» — дословно последующие действия (наблюдение)). В эту категорию входят кисты, имеющие более сложное строение, но не входящие в категории **Bosniak I** и **Bosniak II** — 5% малигнизации: 1.Большее число тонкостенных перегородок. 2.Минимальное, но равномерное утолщение стенок и/или перегородок.3. Стенки и/или перегородки могут иметь кальцификацию, которая может быть утолщенной или даже узловой, но без явного накопления контрастного препарата. 4.Кисты категории **Bosniak — II**, которые имеют минимальное усиление тонкостенной равномерной перегородки. 5.Гиперденсные кисты, расположенные интратанально, размерами более 3 см в диаметре, но не накапливающие контрастный препарат.

Bosniak — III (сомнительные кисты) — 50% малигнизации:

1. Утолщенная стенка.
2. Неравномерная по толщине или распространенности кальцификация.
3. Многокамерность.
4. Множественные перегородки.
5. Стенки и пере-

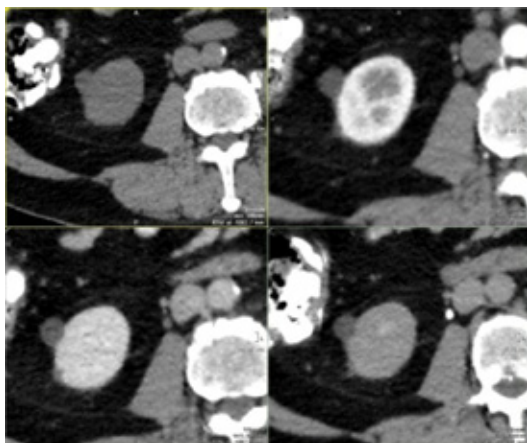


Рис. 2. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: простая киста правой почки

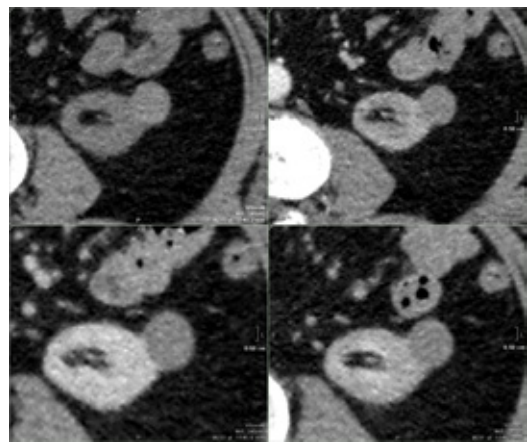


Рис. 3. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: минимально сложная киста левой почки (белковая)

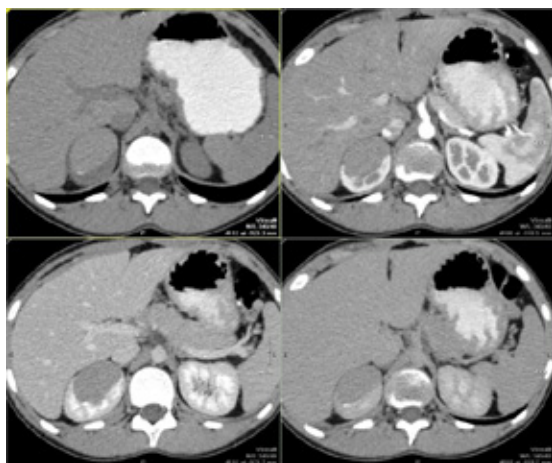


Рис. 4. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: сложная киста правой почки — гиперденсная киста, пристеночно содержит кальцинат

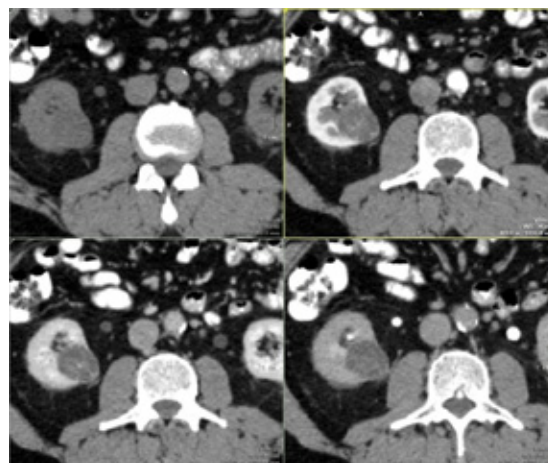


Рис. 5. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: сомнительная киста правой почки — большое количество тонкостенных перегородок, которые явно накапливают контрастный препарат

городки могут явно накапливать контрастное вещество. 6. Белковое или геморрагическое содержимое. 7. Требуют комплексной хирургической оценки.

Bosniak — IV (явно злокачественная киста) — 90–100% малигнизации:

1. Неравномерные или накапливающие толстые стенки.
2. Накапливающий или большой узел в стенке.
3. Явный тканевой компонент в кисте.
4. Показание для хирургического лечения.

Многие из кистозных образований почек являются случайными находками на КТ. Большинство из них — простые почечные кисты, и нет необходимости в их дальнейшем наблюдении. Однако осложненные кисты, некоторые из которых являются злокачественными, требуют хирургического вмешательства, в то время как другие — динамического наблюдения. Необходимо отметить, что четких представлений о морфологических вариантах кистозного рака почки (рак в стенке кисты, кистозная трансформация ПКР) нет, как нет и четких критериев диффе-

ренциальной диагностики образований II и III категорий по Bosniak, а также определенных рекомендаций в отношении их ведения и объема хирургического вмешательства.

Цель исследования: Изучить диагностическую информативность МДКТ в выявлении и дифференциальной диагностике кистозных образований почек и разработать алгоритм их диагностического сопровождения.

Материалы и методы. С целью определения спектра КТ признаков кистозных образований и корреляции полученных данных с результатами гистологических исследований или динамических наблюдений, нами ретроспективно проанализированы данные МСКТ 231 больного (118 — мужчин и 113 женщин), у которых были случайно выявлены простые и минимально сложные кисты почек, а также 21 больного (11 — мужчин и 10 женщин) с атипичными кистозными массами почек. Средний возраст больных составил $55,8 \pm 1,07$ года (от 30 до 75 лет), размер выявленных кист — от 0,3 до 4,0 см.

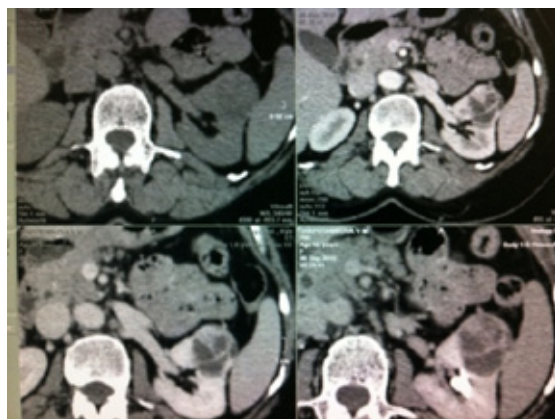


Рис. 6. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: явно злокачественная киста левой почки — неравномерные и накапливающие толстые стенки

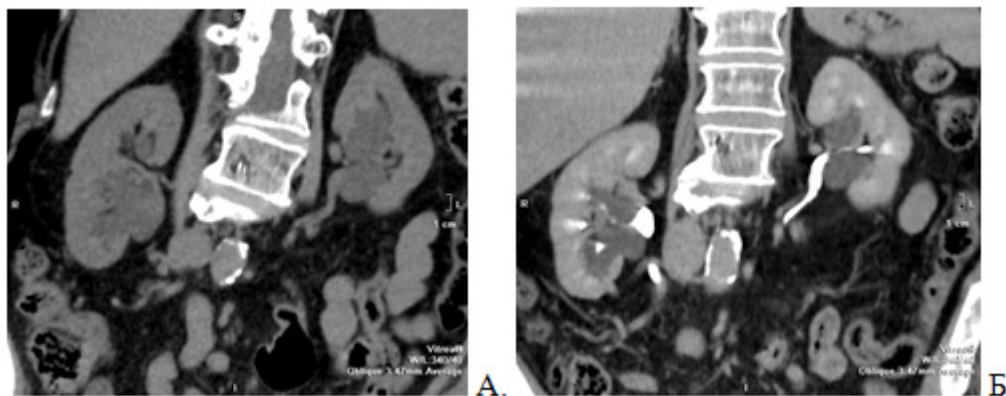


Рис. 7. МДКТ в нативную и экскреторную фазы: А — в нативную фазу четко визуализируется жидкостные образования в проекции полостных систем обеих почек, контур полостной системы правой почки не деформирован, следовательно, нельзя исключить гидронефроз. Б — в экскреторную фазу четко дифференцируется контрастированная полостная система и окружающие ее кисты

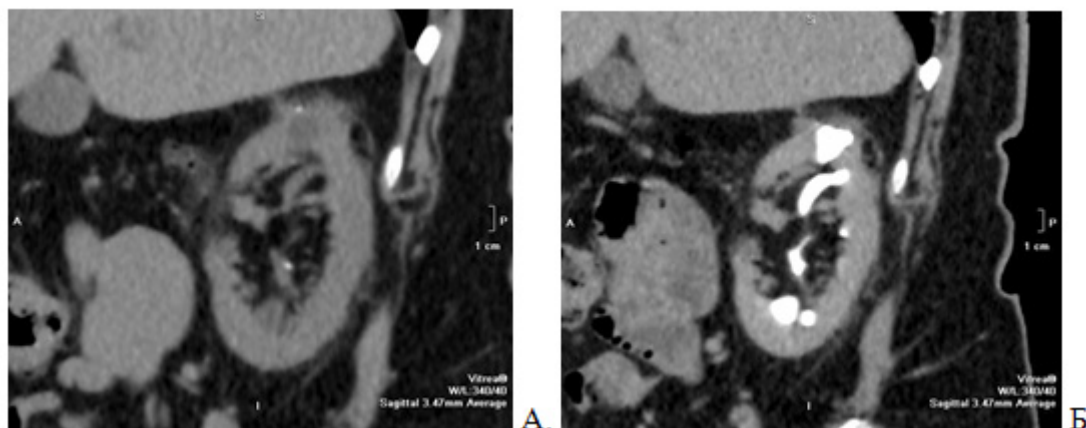


Рис. 8. МДКТ в нативную и экскреторную фазы: В верхнем сегменте правой почки определяется кистозной плотности образование, которое в экскреторную фазу (Б) гомогенно выполняется контрастным препаратом

Всем больным проводилось МДКТ брюшной полости и малого таза с в/в болюсным усилением (сканер — Toshiba Activion16) с толщиной среза 1 мм и реконструкцией 3мм. Для в\в контрастирования использовались неионные контрастные вещества с концентрацией йода 300–350 мг/мл объемом 100–150мл, вводимые в локтевую вену с помощью автоматического инжектора со скоростью 4,0 мл/сек. Для получения полной диагностической картины проводилось 4 фазы сканирования: нативная (НатФ), артериальная (АФ), нефрографическая (НФ) и экскреторная (ЭФ), а при необходимости — также и отсроченное сканирование.

Результаты. Исследование проводилось во все четыре фазы контрастирования — доконтрастные КТ-изображения дают важную информацию о наличии жировой ткани, кровоизлияний, кальцинатов и наличии жидкостного компонента, в артериальную фазу визуализируется сосудистый компонент и соотношение образования с сосудистой ножкой почки, нефрографическая

фаза дает представление о накоплении контрастного вещества в стенке, перегородках или в мягкотканом компоненте образования, и экскреторная фаза для определения связи кистозных структур с полостной системой, что особенно важно при парапельвикальных кистах, которые могут имитировать гидронефроз (Рис. 7.), а также при дивертикулах чашечек и лоханки, которые в экскреторную фазу выполняются контрастным веществом (Рис. 8.).

Показатели плотности оценивались на до- и постконтрастных изображениях. При этом значения единиц Хаунсфилда от кист со сложным содержимым было выше, чем от паренхимы, и варьировало в пределах +40+90НУ.

Характеристика и оценка выявленных кистозных образований проводилась на основании радиологической классификации кист по Bosniak. У пациентов с простыми и минимально сложными кистами гистопатологическая корреляция была проведена у 32, прооперированных по поводу сопутствующей патологии. Она показала 100%

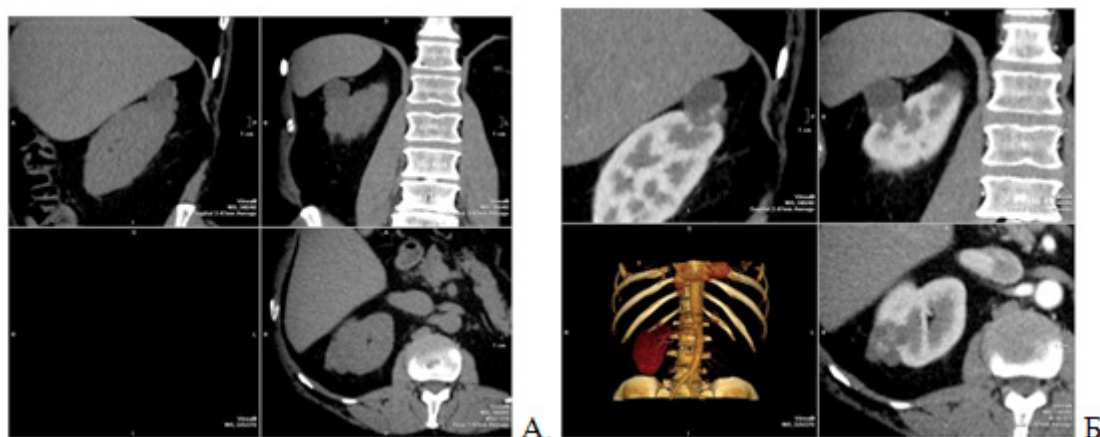


Рис. 9. МДКТ в нативную и артериальную фаз: в проекции верхнего сегмента правой почки образование жидкостной плотности, с нервными бугристыми контурами, содержащее в своей структуре множественные перегородки, которые при в/в усилении интенсивно накапливают контрастное вещество

чувствительность метода при простых кистах почки, вне зависимости от размеров кисты и глубины расположения в паренхиме. В остальных случаях у пациентов с простыми и минимально сложными кистами хирургическое лечение пациентов не проводилось, все образования были выявлены случайно и размер их не превышал 4см. Вместе с тем, следует отметить, что по данным литературы процент злокачественности при I категории может составить 4,7% [5]. Однако, эти данные, безусловно, не являются объективными в связи с тем, что такие кисты представляют собой самую многочисленную группу кистозных образований почки и выявляются почти у 12% людей [5]. Учитывая этот факт, дальнейшее динамическое наблюдение в обследованной группе больных проводилось лишь у пациентов с сопутствующей патологией.

Для проведенного исследования наибольший интерес представляли пациенты с сомнительными образованиями: из 21 пациента с атипичными кистозными массами, в возрасте от 15 до 75 лет, у 8 был поставлен диагноз сложная киста — Bosniak If (первая группа), у 8 пациентов — Bosniak III (вторая группа) и у 5 пациентов (третья группа) были выявлены явно злокачественные кисты (Bosniak IV). В связи с тем, что по данным литературы частота злокачественных образований в If категории составляет до 24,2%, а в III категории до 53,6% [6], дифференциальная диагностика таких кист является принципиально важным моментом. Наличие перегородок в кистозном образовании, их толщина являлись важной информацией для оценки в целом. На основе этих данных с использованием классификации Bosniak возможно было соотнести выявленную кисту к той или иной категории. В некоторых случаях, при небольших размерах кистозного образования, количество перегородок было настолько большим, что они практически сливались в одну структуру (Рис. 9). При анализе КТ изображений они определялись у 17 пациентов, из которых в 9 случаях они были множественные, при этом визуализи-

ровались они как утолщенные или неравномерно утолщенные (от 0,2см до 1,0см), что более типично для III категории.

В связи с этим, еще одним, и наиболее важным, фактором в оценке выявленных структур являлось контрастирование и комплексный анализ до- и постконтрастных изображений. Усиление значительно утолщенных стенок или перегородок в кистозном образовании отмечалось при кистах III категории, хотя они могут быть как доброкачественными, так и злокачественными. Категорию III давали нам основание предположить утолщение или неровность стенки. Кальциноз стенок кисты был характерен для пациентов второй группы и выявлен у 6 пациентов.

Кистозные образования IV категории расценивались, как опухоль, при наличии мягкотканого компонента. Он был выявлен у 5 пациентов и после внутривенного контрастирования давал выраженное накопление контрастного препарата. Этим пациентам проводилось оперативное лечение — в трех случаях радикальная нефрэктомия, и в двух случаях органосохраняющие операции. По результатам патогистологического исследования у всех пациентов в структуре стенки кисты был выявлен почечно-клеточный рак. У 1 пациента (Рис. 11) была проведена радикальная нефрэктомия по поводу сложной кисты (Bosniak III), однако по данным гистологического исследования признаков ПКР в ее структуре не выявлено, но выявлено в структуре стенки минимально сложной кисты, которая располагалась в той же почке и была расценена на КТ как киста Bosniak II. Оно представляло собой образование до 3,0см, которое в своей структуре содержало тонкую перегородку. Киста и опухоль были расположены в 3 см друг от друга.

Ни в одном наблюдении не отмечено регионарного или отдаленного метастазирования.

Кроме того, ни в одном из представленных наблюдении не выявлялось явного накопления контрастного препарата в кисте. Однако следует отметить, что при небольших

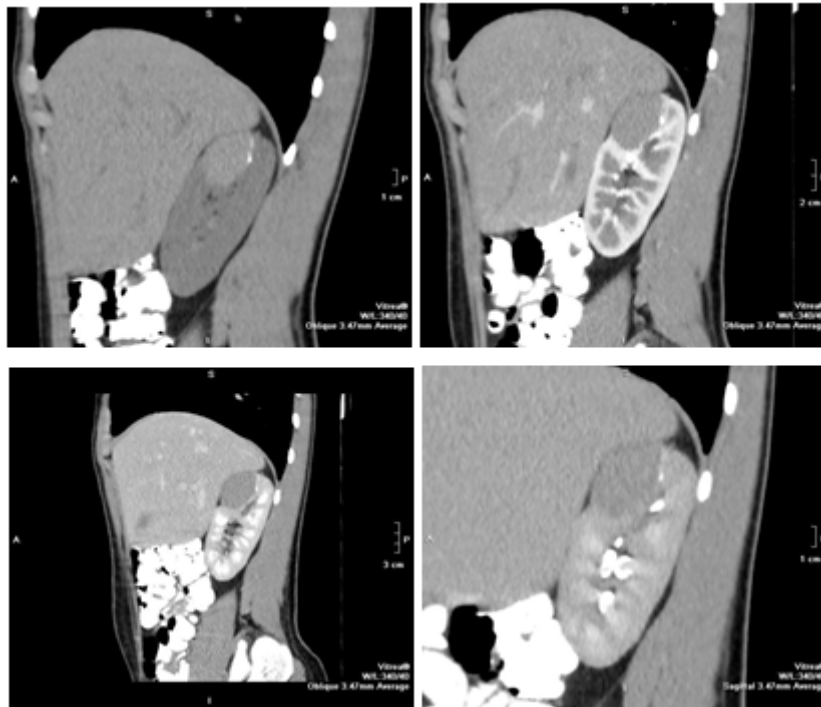


Рис. 10. МДКТ во все 4 фазы контрастирования: Образование повышенной плотности, которое при в/в усилении не накапливает контрастное вещество, содержащее в структуре стенки кальцинаты, которые наиболее отчетливо визуализируются в нативную фазу

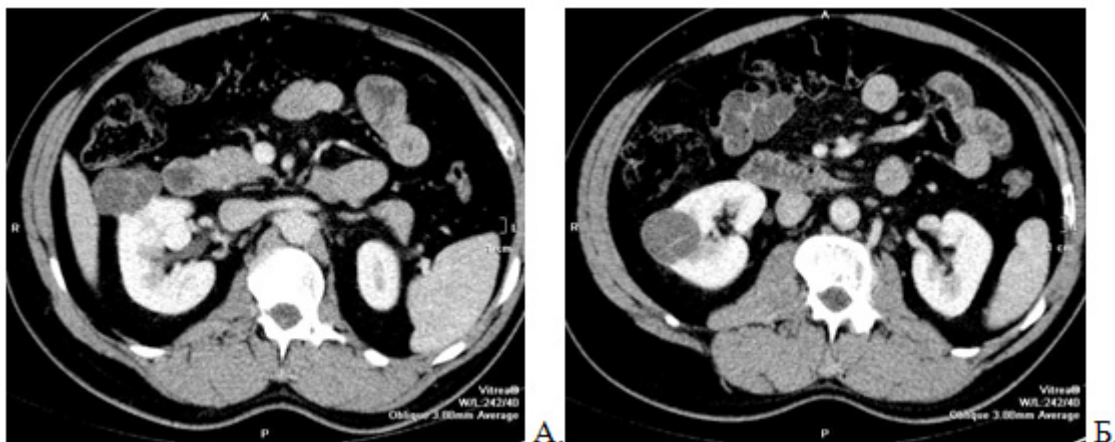


Рис. 11. МДКТ в нефрографическую фазу: А. В среднем сегменте правой почки визуализируется многокамерное, с неровными контурами, жидкостное образование, стенки которого неравномерны — от 0,1см до 0,4см, и интенсивно накапливают контрастное вещество при в/в усилении. Б. В среднем сегменте по латеральному контуру определяется округлой формы, с четкими контурами и жидкостной плотности, образование, содержащее в своей структуре единичную тонкую перегородку

размерах образования нельзя исключить эффект «псевдоусиления» от окружающей паренхимы. С учетом высокой мягкотканевой контрастности, МРТ является более информативной в таких случаях и рекомендуется для сопоставления КТ-МРТ данных с целью дифференциальной диагностики.

Пациенты первой и второй группы находились под наблюдением от 8 мес. до 2 лет. За это время ни один из них

не умер вследствие данного заболевания. У 1-го пациента первой группы отмечено увеличение размеров кисты до 0,4см за 8 месяцев, по данным МДКТ — интрапаренхиматозное образование плотностью до +54+90 ед.Н, при в/в усилении контрастное вещество не накапливающее, содержащее кальцинат в стенке до 0,4см, общим размером до 3,2см, по результатам патогистологического исследования — геморрагическая киста. У остальных па-

Алгоритм диагностики и сопровождения кистозных почечных образований

| Данные первичного МДКТ исследования НатФ | Диагностический алгоритм |
|--|---|
| Жидкостное объемное образование с гомогенным содержимым с/без деформации наружного контура почки без эффекта усиления (Bosniak I) и объемное образование с гомогенным содержимым с или без деформации наружного контура почки, расцененное по данным МДКТ как Bosniak II | МДКТ с в/в усилением во все 4 фазы исследования. В дальнейшем не требует динамического наблюдения. |
| Объемное образование с жидкостным содержимым с или без деформации наружного контура почки, расцененное по данным МДКТ как Bosniak II-F и Bosniak III (в случае выбора тактики наблюдения) | МДКТ с в/в усилением во все 4 фазы исследования. УЗИ-контроль каждые 6 мес в течение 2-х лет, а в дальнейшем, при отсутствии динамики, каждые 12 месяцев. При изменении характеристик или размеров опухоли по УЗИ — показана МДКТ в фазах НатФ + НФ + ЭФ (в случае планирования оперативного вмешательства — во все 4 фазы исследования). |
| Объемное образование с жидкостным содержимым с или без деформации наружного контура почки, расцененное по данным МДКТ как Bosniak IV | МДКТ с в/в усилением во все 4 фазы исследования, для уточнения характера распространения процесса с последующим решением об оперативном лечении. |

циентов признаков прогрессирования болезни не выявлено. С учетом размеров образований (0,8–4,0см) и отсутствия динамики оперативное лечение не проводилось. Однако ввиду бессимптомного течения, а также трудностей дифференциальной диагностики образований II и III категорий по Bosniak нами предложен алгоритм лучевого сопровождения больных.

Вывод. Таким образом, МДКТ является высокоинформативным методом диагностики и позволяет не только выявлять, но и характеризовать кистозные образования почек. Однако, несмотря на активное использование сов-

ременных методов обследования, атипичные почечные кисты остаются сложной диагностической проблемой, и в настоящее время все еще невозможно четко дифференцировать новообразования II и III категорий по Bosniak, и как следствие — точно идентифицировать ПКР. Уточнение алгоритма обследования таких больных, с учетом совершенствования аппаратуры и методик МДКТ, позволит значительно уменьшить риски диагностического процесса, как в настоящее время, так и в будущем, что будет способствовать выбору правильной тактики лечения и повышению качества жизни таких пациентов.

Литература:

1. Terada N., Ichioka K., Matsuta Y. et al. The natural history of simple renal cysts. // J Urol 2002; 167 (1): 21–3.
2. Rankin S. C., Webb J. A. B., Reznek R. H. Spiral computed tomography in the diagnosis of renal masses // B. J. U. Int. — 2000. — Vol. 26. — Supl. 1. — P. 48–57.
3. M. A. Bosniak The small (≤ 3.0 cm) renal parenchymal tumor: detection, diagnosis, and controversies // Radiology, vol. 179, no. 2, pp. 307–317, 1991.
4. David D. Casalino, Frank H. Miller, Paul Nikolaidis, Nancy A. Hammond Genitourinary Imaging cases pp. 61–72, 2010.
5. Terada N., Ichioka K., Matsuta Y. et al. The natural history of simple renal cysts // J. Urol. — 2002. — Vol. 167. — P. 21–23.
6. Siegel C. L., McFarland E. G., Brink J. A. et al. CT of cystic renal masses.
7. Analysis of diagnostic performance and interobserver variation // Am. J. Roentgenol. — 1997. — Vol. 169. — P. 813–818.

Термины фиксация и стабилизация с позиций биомеханического анализа

Чуйко Анатолий Николаевич, кандидат технических наук
Украинский аналитически-исследовательский центр в области медицины М. Угриня (г. Львов, Украина)

Левандовский Роман Адамович, кандидат медицинских наук, доцент
Буковинский государственный медицинский университет (г. Черновцы, Украина),
Частная стоматологическая клиника д-ра Р. Левандовского (г. Коломыя, Украина)

Угрин Мирон Миронович, кандидат медицинских наук, доцент
Львовский национальный медицинский университет им. Д. Галицкого (г. Львов, Украина)

Беликов Александр Борисович, доктор медицинских наук, профессор
Буковинский государственный медицинский университет (г. Черновцы, Украина)

В статье проведено сопоставление общенаучной (механической) сути понятий фиксация и стабилизация с трактовкой этих понятий в специализированной стоматологической литературе и демонстрация их механического содержания на примере съёмных и несъёмных протезов на имплантатах. Из уравнений равновесия (уравнений статики) определяются величины реакций в связях и внутренние усилия в любом сечении; проводится оценка несущей способности системы — понятие, которое, на наш взгляд, следует ввести и в биомеханический анализ. Критериев оценки несущей способности системы может быть два: из условия прочности и условия жесткости. Условие прочности, например, позволит оценить прочность окружающих имплантат костных тканей при заданной нагрузке и известных механических характеристиках кости. Из условия жесткости могут быть определены перемещения, например, консольной части протеза и оценены с позиции требуемой стабильности системы.

Ключевые слова: фиксация, стабилизация, биомеханический анализ, съёмные и несъёмные зубные протезы, имплантаты.

Актуальность исследования. Термины (понятия) *фиксация, стабилизация, равновесие* активно используют в своей повседневной практике специалисты разных медицинских направлений: челюстно-лицевые хирурги и ортопеды, стоматологи, имплантологи, ортодонты и др., их смысл обсуждается во многих научных и учебных публикациях. Но, как отмечено в [10], «...термины, принадлежащие медицинским наукам, следует называть и трактовать так, как это принято в медицине, а соответственно термины, отражающие механические понятия — так как это исторически сложилось в механике». Эти термины — *фиксация, стабилизация, равновесие* отражают не только конкретные механические понятия, но и имеют общенаучную основу [7,8]. Поэтому, на наш взгляд, понимание этих терминов узкими специалистами будет более глубоким, если они будут согласованы с их общенаучными формулировками, а выявление возможных несоответствий только поможет в конкретизации сути этих понятий.

Цель исследования: сопоставить общенаучную (механическую) суть понятий *фиксация, стабилизация и равновесие* с трактовкой этих понятий в специализированной стоматологической литературе и демонстрации их механического содержания на примере съёмных и несъёмных протезов на имплантатах, в зависимости от их расположения и количества.

Материал и методы. Суть понятий *фиксация, стабилизация и равновесие*, а также их трактовка в специализированной стоматологической литературе. С позиций механики любой элемент сложной биомеханической системы (конструкции) — зуб, имплантат, съёмный и несъёмный протез, челюсть верхняя и нижняя может рассматриваться, с одной стороны, как *твёрдое (недеформируемое) тело*, а с другой стороны, как *упругое (деформируемое) тело*. *Твёрдое тело в пространстве имеет шесть степеней свободы*, с возможностью перемещения относительно трех пространственных осей и поворотов вокруг них, а *упругое тело имеет бесконечное число степеней свободы*. Для ограничения перемещения тела в пространстве на него накладываются (к нему прикладываются) *связи*. Неподвижность (фиксация) твёрдого тела в пространстве обеспечивается шестью, а на плоскости — тремя, определенным образом расположенными связями [9].

Фиксация (от лат. fixus — прочный, закрепленный) (фиксирование), закрепление чего-либо в определенном положении... [7,10].

Применительно к биомеханике термин «*фиксация*» можно считать синонимом понятия «*закрепление*» или «*неподвижность*» твёрдого тела в пространстве. Но всегда следует учитывать, что в ортопедической стоматологии при протезировании в челюстно-лицевой области (ЧЛЮ) фиксация любого элемента не может быть абсолютно жесткой, так как и опорный зуб, и имплантат, и мягкие ткани обладают конечной жесткостью (определенной податливостью [9]). Поэтому особое значение имеет и понимание сути термина *стабилизация*.

Стабилизация (от лат. Stabilis — устойчивый), упрочение, приведение в постоянное устойчивое состояние или поддержание этого состояния, а также само состояние устойчивости, постоянства [7,10].

В приведенном определении термин *стабилизация* полностью базируется на понятии *устойчивость*. Поэтому рассмотрим это понятие более подробно. В [7] отмечается: *Устойчивость равновесия, способность механической системы, находящейся под действием сил в равновесии, после незначительного отклонения возвращаться в положение равновесия.* В [8] этому же понятию дается близкое определение: *Если действующие силы стремятся вернуть тело в положение равновесия (когда оно из этого положения выведено), то рассматриваемое положение равновесия является устойчивым; в противном случае равновесие будет неустойчивым.*

Отметим, что в 60-х годах прошлого столетия среди механиков происходили бурные дискуссии по поводу содержания понятия *устойчивость* и признано, что этот термин очень перегружен. Необходима его конкретизация в каждом рассматриваемом случае. Например, термин *упругая неустойчивость* характеризует возможность появления смежных форм равновесия.

На наш взгляд, термин *стабилизация* следует рассматривать шире, не ограничивая поведение системы ее *устойчивостью* в классическом понимании. Например, при невысокой жесткости несъемного мостовидного (или съемного) протеза и существенной нагрузке окклюзионные соотношения зубов могут быть нарушены и говорить о *стабильности* такой системы неправомерно. Поэтому в [10] это понятие расширено и может быть уточнено: *Стабилизация опорных элементов супраструктуры, несъемных протезных конструкций, съемных протезов с опорой или фиксацией на имплантатах определяется величиной упругого деформирования корпуса протеза и супраструктуры имплантатов, т.е. их жесткостью на изгиб, которая зависит от рационального расположения узлов фиксации, их жесткости, размеров поперечного сечения элементов, линейных размеров протезной конструкции и степени остеоинтеграции имплантатов.*

Для повышения стабилизации (жесткости системы) могут применяться промежуточные опоры (узлы фиксации). Любая связь выше необходимой делает систему статически неопределимой, что усложняет аналитическое решение. Сложность решения в этих случаях достаточно подробно обсуждена в [9] и будет рассмотрена ниже.

Рассмотрим также классическое определение для понятия *равновесие*, которое входит и в понятие *устойчивость* и активно используется в стоматологической литературе [2,6]. В соответствии с [7]: *Равновесие механической системы, состояние механической системы, находящейся под действием сил, при котором все ее точки покоятся по отношению к рассматриваемой системе отсчета. Р. имеет место, когда все действующие на тело силы взаимно уравновешены. Р. тела может быть устойчивым, неустойчивым и безразличным.* Кроме того, в [8] этому понятию дается определение: *Для равновесия произвольной пространственной системы сил необходимо и достаточно, сумма проекций всех сил на каждую из координатных осей и сумма их моментов относительно этих осей были равны нулю.* Именно, на основании этих уравнений определяются величины реакций в связях после фиксации тела в пространстве.

Во многих популярных учебниках и пособиях [1,3,4] используется только один термин *фиксация*, либо сочетание терминов *фиксация* и *стабилизация* без четкого определения их смысла, т.е. их понимание, происходит «по умолчанию». В работе [6] все три термина *фиксация*, *стабилизация* и *равновесие* рассматривается в двух разделах «Фіксація та стабілізація бюгельних протезів» и «Фіксація, стабілізація та рівновага повних знімних протезів» с определением смысла каждого термина.

Рассмотрим каждый из терминов в соответствии с разделом «Фіксація та стабілізація бюгельних протезів» более подробно (в переводе на русский язык).

Фиксация, стабилизация и равновесие — понятия, которые обуславливают степень и вид крепления (фиксации) протезов на челюстях.

Фиксация — это удержание протезов на челюстях в состоянии относительного физиологического покоя жевательного аппарата, которое обеспечивается с помощью анатомической ретенции и физических способностей.

Стабилизация — это удержание полных протезов во время разговора и разных движениях нижней челюсти.

Равновесие — это устойчивость протезов во время выполнения жевательных движений.

В разделе «Фіксація, стабілізація та рівновага повних знімних протезів» все эти термины связаны с понятием *устойчивость*. Аналогично, все эти термины связаны с понятием *устойчивость* в работе [2]. Но в работах [2,6] не обсуждено, что следует понимать под термином *устойчивость*. Как уже отмечалось выше это понятие сложное, многообразное. При больших перемещениях формально система может быть *устойчивой*, но вряд ли ее можно считать *стабильной*. Утверждение, что *стабилизация — это удержание полных протезов во время разговора*, а *равновесие — это устойчивость протезов во время выполнения жевательных движений* не позволяет систематизировать эти понятия. Кроме того, использование термина *равновесие* в работах [2,6] не согласовано с его классической интерпретацией, так как уравнения равновесия — основа биомеханического анализа на любом этапе.

Сопоставление общенаучной (механической) сути понятий *фиксация*, *стабилизация* и *равновесие* с трактовкой этих понятий в специализированной стоматологической литературе позволяет сделать следующие краткие выводы:

— Термин *фиксация* носит структурный характер, показывающий, как обеспечена неподвижность элемента системы (твёрдого тела) в пространстве.

— Термин *стабилизация* отражает «качество» фиксации, в первую очередь, по величине возможных перемещений в системе под действием внешних сил.

— Термины *равновесие* и *устойчивость* требуют дополнительного уточнения и согласования с общенаучными формулировками.

После теоретического сравнения понятий *фиксация*, *стабилизация* и *равновесие* рассмотрим их применение при решении конкретных задач — биомеханическом анализе съёмных и несъёмных протезов на имплантатах.

Результаты исследования и их обсуждение.

Предварительный биомеханический анализ съёмных и несъёмных протезов

Предварительный системный биомеханический анализ съёмных и несъёмных протезов будем проводить на основе основных зависимостей механики, кратко изложенных выше и более глубоко в работах [9,10,11]. Принимаем также классификацию имплантатов по Миш [5,14]. В Главе 4 «Prosthetic Options in Implant Dentistry» — «Варианты протезирования в имплантационной стоматологии» приводится классификация протезов, которая подразделяется на пять типов: «НП-1 — Несъёмный протез. Замещает только коронку. Выглядит как естественный зуб. НП-2 — Несъёмный протез. Замещает коронку и часть корня. Контур коронки выглядит нормальным в окклюзионной половине, но вытянут или чрезмерно контурирован в десневой половине. НП-3 — Несъёмный протез. Замещает отсутствующие коронки, часть беззубого пространства, восстанавливает цвет десны. В протезе чаще используются протезные зубы и акриловая десна, но он может быть металлокерамическим. СП-4 — Съёмный перекрывающий протез, полностью поддерживаемый имплантатами. СП-5 — Съёмный перекрывающий протез, поддерживаемый мягкой тканью и имплантатами».

«Объём поддержки имплантатами может меняться. Нижнечелюстной протез с опорой на твёрдые ткани у полностью адентичного пациента может иметь 2 независимых или шинированных друг с другом передних имплантата в области клыков для повышения ретенции.... Основное преимущество СП-5 — низкая стоимость.

...Врач и пациент должны понимать, что резорбция кости продолжится в тех областях протеза, которые поддерживаются мягкими тканями. Обычное требование к уходу за протезом СП-5 — перебазировка и коррекция окклюзии каждые несколько лет. Однако в случае с СП-5 резорбция может происходить в 2–3 раза быстрее, чем в случае с полными протезами

В подразделе «Поддержка гребня мягкими тканями» главы 11 [5,14] отмечается — «Оценка мягкотканевой поддержки особенно важна, если планируется установка реставраций СП-5 (перекрывающих протезов), которые имеют двойную поддержку — со стороны имплантатов и со стороны беззубых гребней».

Подчеркнем, что имплантат (опорный зуб), установленный в достаточно плотную ткань одновременно выполняет все три функции — опорную, фиксации и стабилизации протеза. Особенности реализации этих функций рассмотрим на конкретных примерах.

Расчетная схема протеза, используемая для предварительного анализа, следуя [11], представлена на рис. 1. Предположено, что конструкция протеза и прикладываемая жевательная нагрузка симметричны. Это позволяет упростить расчетные схемы, рассматривая только одну половину протеза. Схема на рис. 1 учитывает, что четыре имплантата установлены симметрично и могут располагаться в межментальном пространстве нижней челюсти (НЧ). Такая схема характерна, в первую очередь, для съёмных протезов [11]. Дополнительно такой протез, как правило, поддерживается мягкой тканью десны.

На рис. 2, следуя [5,14] (рис. 18–12), приведена принципиальная схема расположения имплантатов, которая характерна для несъёмных протезов. В отличие от [5,14], где обсуждаются особенности в соотношении переднезаднего размера и консоли (надписи справа), слева обозначены размеры между рядами установки имплантатов, которые будут использованы при дальнейшем биомеханическом анализе. Варьируя размеры a_{ϕ} , a , b , c можно схематически расположить имплантаты первого и второго ряда в межментальном пространстве, реализуя распространенную схему расположения имплантатов в виде трапеции.

С позиций механики (сопротивления материалов), корпус протеза представляет собой составную балку, включающую металлическую балку (ХКС, золотосодержащий или титановый сплав) и искусственную десну (акриловая пластмасса для съёмных протезов), изогнутую по профилю НЧ, опирающуюся на имплантаты (промежуточные опоры) — для несъёмных протезов и в консольных частях на слизистую оболочку десны (упругое основание) — для съёмных протезов. Основное различие для НЧ одной конфигурации будет заключаться в жесткости элемента (балки) на изгиб EJ , так как модуль упругости металлического сплава на один или два порядка выше, чем у акрила.

Долговечность всей системы такого типа, характер ее поведения на всех стадиях жизненного цикла, зависит от практического решения вопросов *фиксации, стабилизации и опорной функции*. В [11, рис. 5] достаточно подробно рассмотрена схема нагружения протеза (балки) при откусывании пищи и различном количестве имплантатов. Далее основное внимание уделим поведению системы при жевании пищи.

Расчетные схемы для анализа, используя дидактический принцип *от простого к сложному*, приведены на **рис. 3**.

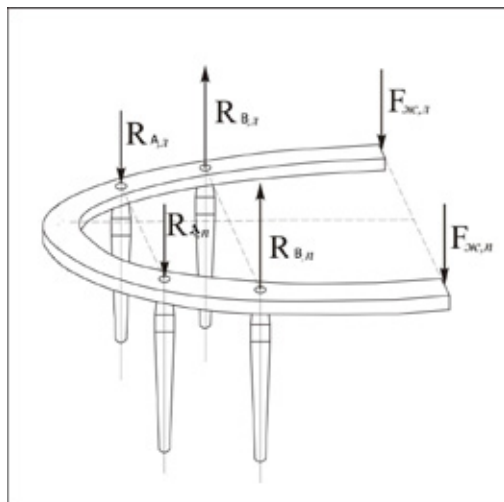


Рис. 1. Расчетная схема протеза [11].

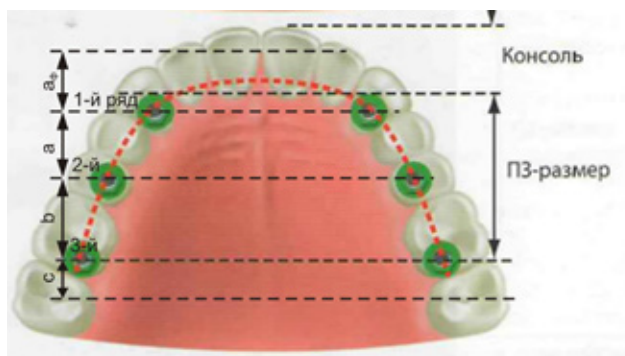


Рис. 2. Принципиальная схема расположения имплантатов [5].

Вначале рассмотрим наиболее простую расчетную схему — протез, с шарнирной фиксацией с опорой на два имплантата (**рис. 3.а**). Рассуждения принципиально не изменятся, если в первом ряду расположен один, два или три имплантата. С позиций механики — это шарнирно опертая балка, которая является механизмом, так ее движение в плоскости может быть ограничено только трением в шарнире (движение показано пунктиром на **рис. 3.а**). С позиций имплантологии — это протез, закрепленный на двух шаровидных абатментах. Его движение вниз может быть ограничено только контактом со слизистой оболочкой десны. Таким образом, до контакта со слизистой протез не зафиксирован и вопросы стабилизации и передачи нагрузки (опорная функция) можно не обсуждать. После контакта со слизистой протез следует считать зафиксированным (от движения вниз), но при этом возникает «проблема концевое седла» [1]. Более подробно этот расчетный случай будет рассмотрен в отдельной публикации.

Фиксация — неподвижное закрепления этой конструкции (на плоскости) может быть реализовано двумя способами: жестким закреплением одного торца или созданием дополнительной опоры, как это показано на **рис. 3,б,в**.

С позиций механики, схема, представленная на **рис. 3,б** — это консольная балка. С позиций имплантологии такая схема реализуется при обычных конусовидных или цилиндрических абатментах. Жевательная нагрузка в виде силы $F_{жс}$, приложенная на конце консоли, вызовет в заделке реакцию в виде поперечной силы R и момента M , которые соответственно равны

$$R = F_{жс}, M = F_{жс}l. \tag{1}$$

Это те нагрузки, которые через имплантаты передаются на окружающие их костные ткани, реализуя опорную функцию имплантатов, — определяются на основе уравнений равновесия.

Перемещения свободного конца консоли можно определить по формуле

$$\Delta_F = \frac{F_{жс} l^3}{3EJ}, \quad (2)$$

где l — длина балки;

EJ — изгибная жесткость протеза (балки).

В рассматриваемом случае длина может быть равна $l=a+b$, и $l=a+b+c$ (рис. 2) в зависимости от места приложения равнодействующей силы от пищевого комка. Пунктир на рис. 3,б отражает упругие перемещения протеза, которые и характеризуют степень нестабильности протеза и зависят от величины изгибающих моментов, эпюры которых представлены под каждой расчетной схемой. Отметим, что в формулу (2) длина балки l входит в кубе, т. е., например, увеличение этого параметра в два раза приводит к увеличению упругих перемещений — нестабильности протеза в восемь раз.

Схема, приведенная на рис. 3,б, и ее анализ носит, в первую очередь, методический характер, так как ее реализация на практике приведет, с высокой степенью вероятности, к несостоятельности имплантатов из-за большого «выворачивающего» момента.

Как следует из формулы (6) при существенном увеличении параметра l , перемещение в точке приложения силы может быть существенным. Естественным конструктивным решением, в этом случае, является установление дополнительного имплантата (промежуточной опоры), как показано на рис. 3,в. Расчетная схема на рис. 3,в полностью отражает схему на рис. 2 и, как отмечалось выше, часто реализуется на практике. Жевательная нагрузка в виде силы $F_{жс}$, приложенная на конце консоли, как и раньше, вызовет реакции в имплантатах R_a и R_b , которые могут быть определены по формулам

$$R_a = -F_{жс} \frac{b}{a}; \quad R_b = F_{жс} \left(1 + \frac{b}{a}\right), \quad (3)$$

В формуле для R_b первое слагаемое — «единица» отражает действие поперечной силы, равной $F_{жс}$; в обеих формулах соотношение b/a отражает действие изгибающего момента, равного $M=F_{жс} \cdot b$.

Таким образом, при $b=0$ вся нагрузка в виде поперечной силы воспринимается ближайшим имплантатом. С ростом плеча b составляющая в реакциях от действия момента может существенно возрастать. Реакция R_b всегда по величине больше, чем реакция R_a .

При уменьшении расстояния между рядами имплантатов a величины реакций будут расти и при $a=0$ стремиться к бесконечности, т. е. опора становится идеальным шарниром, не воспринимающим моментную нагрузку (см. рис. 3,а). Момент $M=F_{жс} \cdot b$ может быть воспринят имплантатами, расположенными в один ряд, за счет жесткой связи между балкой и имплантатами, что может быть реализовано конструктивно за счет обычного цилиндрического или конического абатмента. На рис. 3,в стрелками обозначено направление реакций со стороны имплантатов на балку. Балка действует на имплантаты в обратном направлении, т. е. ближайшие к силе $F_{жс}$ имплантаты будут вдавливаться в десну, а дальние — соответственно «вырываться» из десны. Реакции в имплантатах R_a и R_b вызывают усилия, которые и должны восприниматься окружающими имплантат костными тканями, реализуя опорные функции имплантата.

Перемещение конца балки, в точке приложения силы $F_{жс}$, можно определить по формуле

$$\Delta_F = \frac{F_{жс} b^3}{3EJ} \left(1 + \frac{a}{b\bar{J}}\right), \quad (4)$$

В формуле (4) первый множитель (или «единица» в скобках) отражает прогиб консольной части балки, второе слагаемое в скобках отражает влияние на перемещение конца балки прогиба между опорами (имплантатами). Параметр $\bar{J} = \frac{J_b}{J_a}$ отражает соотношение изгибной жесткости балки на участках a и b , т. е., например, с металлической балкой и чисто акриловой. Сравнение формул (2) и (4), а также показанных на рис. 3, б и в пунктирной линией перемещений, свидетельствует, что упругие перемещения при наличии промежуточной опоры значительно меньше, т. е. стабильность протеза выше. Податливость балки δ_0 в этом случае определяется по формуле

$$\delta_0 = \frac{b^3}{3EJ} \left(1 + \frac{a}{b\bar{J}}\right). \quad (5)$$

В [5,14] отмечается, что «...Наблюдали увеличение потери гребня альвеолярной отростка, когда для восстановления потерянных зубов использовались консоли. Длина консоли также влияла на увеличение числа неудерживаемых реставраций, разломов компонентов протеза и переломов тел имплантата». Этот фрагмент

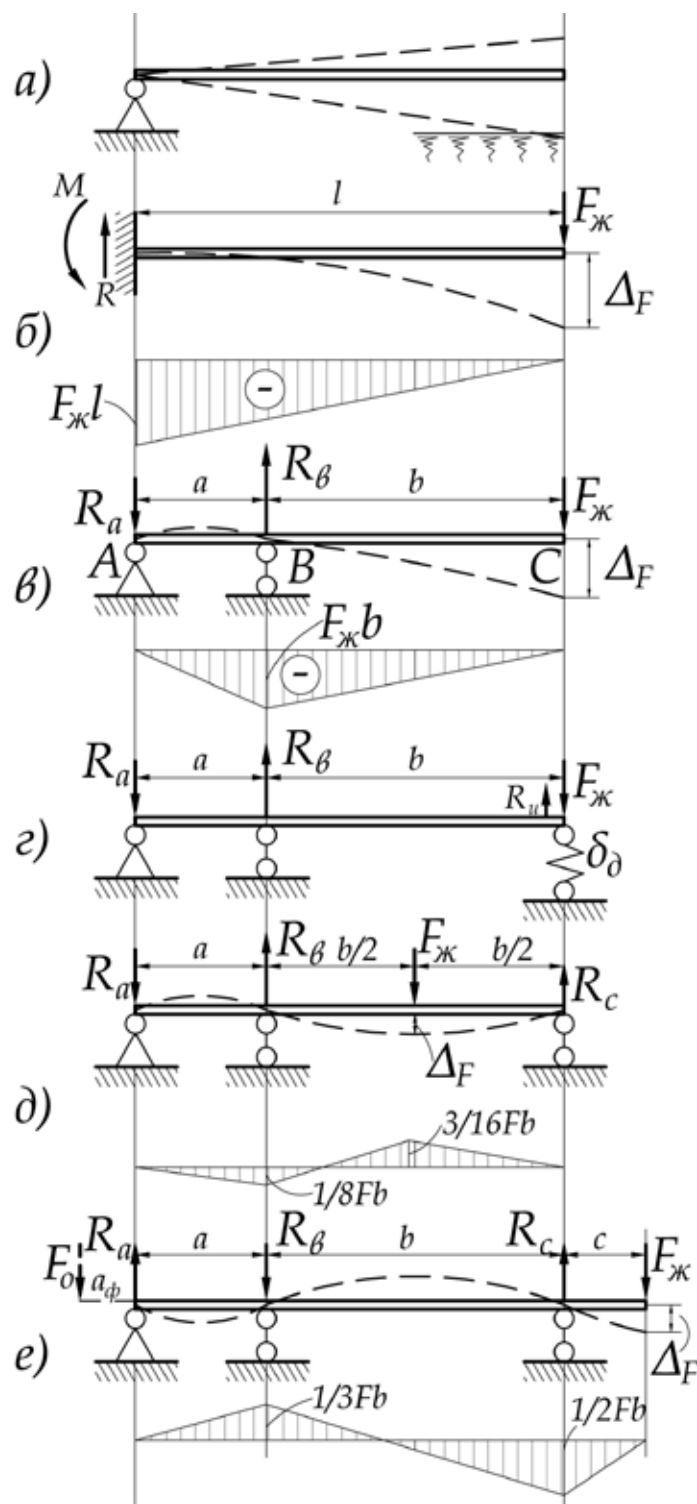


Рис. 3. Расчетные схемы для анализа съемных и несъемных протезов

позволяет проиллюстрировать важное положение из [9], что «одна расчетная схема может применяться для анализа разных объектов». В данном случае формулы (3) показывают, что нагрузка, приложенная к консольной части моста будет вызывать в дистальном имплантате (опорном зубе) реакцию большую, чем в дальней опоре именно на величину действующей силы, что и может привести к потере альвеолярной кости. Кроме того, *изгибающий момент в мостовидном протезе будет максимальным над дистальной опорой, он равен произведению длины консоли на величину силы, что, в свою очередь, может привести к разлому компонентов протеза* [5,14].

Подчеркнем, что, если имплантаты по схеме «трапеция» расположены в межментальном пространстве, то параметр *a* (см. рис. 2 и рис. 3,в) численно будет очень небольшим, а наоборот параметр *b* будет существенно больше. На-

пример, при $b/a=5$ реакции в имплантатах R_a и R_b будут соответственно в пять и шесть раз превышать действующую нагрузку $F_{ж}$. Образно говоря проявится «эффект гвоздодера» и несостоятельность имплантатов и супра-структуры протеза на них будет наиболее вероятной.

При съёмных протезах, как отмечено в [5,14], следует обязательно учитывать поддержку мягкими тканями десны. На **рис. 3,г** представлена расчетная схема, учитывающая упругость десны. Примем допущение, что местная жесткость компактной кости альвеолярного гребня выше, чем жесткость десны, т. е. будем считать, что слизистая оболочка десны лежит на абсолютно жестком основании. При этих допущениях, в первом приближении, податливость слизистой оболочки δ_d может быть определена по формуле

$$\delta_d = \frac{h}{E_d A}, \quad (6)$$

где h — толщина слизистой оболочки десны;

E_d — модуль упругости тканей десны;

A — площадь контакта искусственной десны со слизистой оболочкой.

Проведем краткий анализ формулы (6), так как в известной нам литературе [1,3,5,14] податливость десны оценивается только качественно.

Формула выражает величину податливости слизистой оболочки при одноосном сжатии. В первом приближении потому, что на наш взгляд, для такой структуры, как слизистая оболочка десны, следует учитывать вязкоупругие свойства тканей (предполагается учесть при дальнейших исследованиях).

Особо отметим, что в стоматологической литературе [1,3,5,14], податливости слизистой оболочки уделяется большое внимание, но качественно — по абсолютной величине перемещений. Формулы типа (6) освещают этот вопрос механически более корректно, так как выражают перемещение ткани десны при силе равной 1 Н .

Если условно принять, что толщина слизистой $h=0$, то и ее податливость тоже равна нулю, т. е. эту опору можно рассматривать как абсолютно жесткую, что подчеркивает важность определения этого параметра у каждого пациента.

При невысоком модуле упругости тканей десны E_d податливость десны большая, т. е. ее возможность к восприятию жевательной нагрузки невысокая. Большая часть жевательной нагрузки будет восприниматься за счет изгиба балки и передачи ее на имплантаты, в соответствии со схемой на **рис. 3,в**.

Формулы (5) и (6) имеют разное начертание, так как относятся к разным расчетным схемам, но одинаковый механический смысл и одинаковую размерность $мм/Н$. Этот показатель является относительным — показывает перемещение в элементе системы при силе равной единице, и поэтому достаточно информативен.

Продолжим анализ расчетной схемы протеза с учетом упругости десны (**рис. 3,г**). Так как в этом случае балка имеет три опоры, она является статически неопределимой. Усилие (реакцию) в упругой оболочке слизистой обозначим как R_d . Опуская достаточно громоздкие математические выкладки, получим

$$R_d = \frac{F_{ж}}{1 + \frac{\delta_d}{\delta_b}}, \quad (7)$$

где δ_d — податливость слизистой оболочки;

δ_b — податливость балки, определяемая по формуле (5).

При абсолютно жесткой слизистой оболочке ($\delta_d = 0$) вся нагрузка, возникающая при жевании пищи $F_{ж}$, будет восприниматься десной — балка не изгибается. При равенстве податливостей ($\delta_d = \delta_b$) половина нагрузки, возникающей при жевании пищи $F_{ж}$, воспринимается изгибом балки, а половина — десной и т. д. С ростом податливости десны, воспринимаемая ею нагрузка уменьшается, а балка пропорционально нагружается от изгиба, передавая нагрузку на имплантаты. В пределе, при $\delta_d = \infty$ получаем схему, представленную на **рис. 3,в**, уже подробно проанализированную выше. Выражения (3,4) сохраняют свои значения при подстановке $F_{ж} - R_d$.

Вопрос о распределении жевательной нагрузки между имплантатами и слизистой оболочкой десны следует признать дискуссионным, требующим дополнительных клинических и статистических исследований.

Соотношение δ_d / δ_b , входящее в выражение (7) может быть проанализировано не только качественно, но и количественно. Используя выражения (5) и (6), получим

$$\frac{\delta_d}{\delta_b} = 3 \frac{E}{E_d} \frac{hJ}{b^3 A \left(1 + \frac{a}{bJ}\right)}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что соотношение δ_d / δ_b зависит от целого ряда как геометрических (анатомических), так и механических параметров. Очевидно, что параметры, относящиеся к десне: E_d — модуль упругости тканей десны; h — толщина слизистой оболочки десны, заданы, их изменять нельзя. Остальные параметры, в первую очередь относящиеся к кор-

пусу протеза: E — модуль упругости материала балки; J — момент инерции балки; b — длина дистальной части протеза; a — расстояние между имплантатами (рядами имплантатов), могут варьироваться, т. е. подбираться в процессе проектирования на основе расчетов.

Таким образом, проектирование протеза можно вести целенаправленно, в зависимости от заданной пропорции в распределении жевательной нагрузки между имплантатами и слизистой оболочкой десны.

Если для съемных протезов (СП-5 по [5, 14]) как показано выше, обязательна поддержка мягкими тканями десны, то для протезов типа СП-4 по [5, 14] и несъемных протезов эта поддержка осуществляется за счет дополнительных рядов имплантатов — 3-й, 4-й и т. д., как показано на рис. 2. Балка с промежуточной опорой с позиций сопротивления материалов является статически неопределимой, т. е. число уравнений равновесия меньше, чем число неизвестных. Усилие (реакцию) в имплантате обозначим как R_u . Опуская достаточно громоздкие математические выкладки, получим выражение аналогичное (7)

$$R_u = \frac{F_{ж}}{1 + \frac{\delta_u}{\delta_b}}, \tag{9}$$

где δ_u — податливость имплантата;

δ_b — податливость балки, определяемая по формуле (5).

Подчеркнем, что податливость имплантата δ_u зависит не только от конструкции имплантата, но и в значительной степени от механических свойств окружающих его костных и мягких тканей. Частично этот вопрос исследован в [12, 13].

Проведем краткий анализ соотношения (9). При абсолютно жесткой крайней опоре ($\delta_u = 0$) вся нагрузка, возникающая при жевании пищи $F_{ж}$, воспринимается полностью имплантатом — балка не изгибается. При равенстве податливостей ($\delta_u = \delta_b$) половина нагрузки, возникающей при откусывании пищи $F_{ж}$, воспринимается изгибом балки, а половина — имплантатом и т. д. С ростом податливости имплантата воспринимаемая им нагрузка уменьшается, а протез (балка) пропорционально нагружается от изгиба. Следует также иметь в виду, что в зависимости от жесткости балки на изгиб, все три ряда имплантатов, также в зависимости от их податливости, будут «обеспечивать» вертикальную осадку балки, как твердого тела на пружинах. Исследование этого вопроса более детально в задачу данной статьи не входит. Также отдельного исследования требует вопрос об ослаблении со временем фиксирующих балку винтов и появления за счет этого дополнительного прогиба балки.

Представляет интерес и расчетный случай, когда равнодействующая от пищевого комка приложена не в точке над имплантатом, а в середине пролета между вторым и третьим рядом имплантатов, так как это показано на рис. 3, д. Реакции в имплантатах (опорах) можно определить по формулам

$$R_a = -\frac{3}{16} F_{ж} \frac{b^2}{a(a+b)}; R_b = \frac{1}{2} F_{ж} [1 + \frac{3}{8} \frac{b}{a+b} (1 + \frac{b}{a})]; R_c = \frac{1}{2} F_{ж} [1 - \frac{3}{8} \frac{b}{a+b}]. \tag{10}$$

Моменты над опорными имплантатами можно определить по формулам

$$M_a = 0; M_b = -\frac{3}{16} F_{ж} \frac{b^2}{a+b}; M_{b/2} = \frac{1}{4} F_{ж} b (1 - \frac{3}{8} \frac{b}{a+b}); M_c = 0. \tag{11}$$

Перемещение в середине пролета (рис. 3, д в точке приложения нагрузки) можно определить по формуле

$$\Delta_F = \frac{Fb^3}{48EJ} (1 - \frac{9}{16} \frac{b}{a+b}). \tag{12}$$

В формуле (12) первое слагаемое (сомножитель, умноженный на единицу) выражает перемещение балки на двух опорах длиной b , а второе слагаемое — «поддерживающее» влияние соседнего пролета a за счет чего величина общего перемещения уменьшается.

Еще больший интерес представляет расчетный случай, когда сила приложена на конце консольной части протеза, опертого на несколько рядов имплантатов (рис. 3, е). Этот расчетный случай, при двух рядах имплантатов, уже рассмотрен при анализе рис. 3, в. Реакции в имплантатах (опорах) при трех рядах имплантатов можно определить по формулам

$$R_a = F_{ж} \frac{bc}{a(a+b)}; R_b = -F_{ж} [\frac{c}{b} + \frac{c}{a+b} (1 + \frac{b}{a})]; R_c = F_{ж} (1 + \frac{c}{b} + \frac{c}{a+b}). \tag{13}$$

Моменты над опорными имплантатами можно определить по формулам

$$M_a = 0; M_b = F_{ж} \frac{bc}{a+b}; M_c = -F_{ж} c. \tag{14}$$

Перемещение конца консоли (рис. 3,е в точке приложения нагрузки) можно определить по формуле

$$\Delta_F = \frac{Fc^3}{3EJ} \left[1 + \frac{b}{c} - \frac{b^2}{4c(b+0,75a)} \right]. \quad (15)$$

В формуле (15) первое слагаемое (сомножитель, умноженный на единицу) выражает перемещение консольной балки длиной c , а второе и третье слагаемые — «поддерживающее» влияние пролетов a и b .

По аналогичной схеме, с использованием формул (13–15) может быть исследован и случай откусывания пищи, заменив $F_{ж}$ на F_o , как это пунктиром показано на рис. 3,е, и зеркально заменив обозначения и индексы.

Учитывая сложность формул (10–15) проведем их анализ для конкретного соотношения расстояния между рядами имплантатов, приняв $a=c=b/2$ и сведя все расчеты в табл. 1.

В таблице 1 реакции со знаком «плюс» отражают усилия, которые «вдавливают» имплантат десну. Наоборот — реакции со знаком «минус» отражают усилия, которые «вырывают» имплантат из десны.

Таблица 1. Значения усилий, моментов и перемещений при разных схемах расположения имплантатов

| Схема | R_a | R_b | R_c | M_a | M_b | M_c | Δ_F |
|----------|--------|--------|--------|-------|----------|-------------------|---------------------------|
| Рис. 3,б | F | – | – | 1,5Mb | – | – | 1,125Fb ³ /EJ |
| Рис. 3,в | –2F | 3F | – | – | –Fb | – | 0,5 Fb ³ /EJ |
| Рис. 3,д | –0,25F | 0,875F | 0,375F | – | –0,125Fb | 0,187Fb (при b/2) | 0,013 Fb ³ /EJ |
| Рис. 3,е | 0,67F | –1,5F | 1,83F | – | 0,33Fb | –0,5Fb | 0,11 Fb ³ /EJ |

Предполагается, что все имплантаты в расчетных схемах, представленных на рис. 3, имеют шарнирные абатменты, которые не передают моменты с протеза. Но если момент над опорой не равен нулю, то он будет передаваться на имплантат только при наличии цилиндрического или конусовидного абатмента. Сравнение полученных численных значений для разных расчетных случаев подтверждает выводы, частично сделанные выше:

1) Протез, закрепленный на двух шариковых абатментах во фронтальной области, с позиций механики — это шарнирно опертая балка, которая является механизмом, так ее движение в плоскости может быть ограничено только трением в шарнире. С позиций имплантологии — это протез, движение которого вниз может быть ограничено только контактом со слизистой оболочкой десны. После контакта со слизистой протез следует считать зафиксированным (от движения вниз), но при этом возникает «проблема концевое седла» (рис. 3, а) [1].

2) Протез, закрепленный на двух имплантатах, с балкой и цилиндрическими или коническими абатментами, размещенных во фронтальной части челюсти, это консольная балка. «Выворачивающий» момент в заделке и перемещения конца консольной части будут максимальными, что свидетельствует о невысокой стабильности и долговечности всей конструкции (рис. 3, б).

3) Протез, расположенный на двух рядах имплантатов, с консольной частью имеет значительно лучшую стабильность. Но если имплантаты по схеме «трапеция» расположены в межментальном пространстве, и у съемного протеза имеется существенная по длине дистальная часть, то реакции в опорах (имплантатах) будут также большими. При отсутствии мягко тканой поддержки проявится «эффект гвоздодера» и несостоятельность имплантатов и протеза на них будет наиболее вероятной (рис. 3, в).

4) При наличии мягко тканой поддержки «работа» системы зависит от соотношения податливости имплантата и слизистой. При абсолютно жесткой слизистой оболочке ($\delta = 0$) вся нагрузка, возникающая при жевании пищи $F_{ж}$, будет восприниматься десной — балка не изгибается. При равенстве податливостей ($\delta = \delta$) половина нагрузки, возникающей при жевании пищи $F_{ж}$, воспринимается изгибом балки, а половина — десной и т. д. С ростом податливости десны, воспринимаемая ею нагрузка уменьшается, а балка пропорционально нагружается от изгиба, передавая нагрузку на имплантаты.

5) Обычно у несъемных протезов 3–4 ряда имплантатов. «Работа» всей системы зависит от соотношения податливости протеза, как балки при изгибе, и имплантатов, податливость которых зависит не только от конструкции имплантата, но и в значительной степени от механических свойств окружающих его костных тканей. При абсолютно жесткой опоре вся нагрузка, возникающая при жевании пищи $F_{ж}$, воспринимается полностью имплантатом — балка не изгибается. С ростом податливости имплантата воспринимаемая им нагрузка уменьшается, а протез (балка) пропорционально нагружается от изгиба.

6) Если равнодействующая от пищевого комка приложена не в точке над имплантатом, а в середине пролета между рядами имплантатов, то нагрузка между имплантатами будет распределяться так, что имплантат с соседним пролетом будет воспринимать примерно две трети нагрузки, а имплантат крайний — одну треть нагрузки. Перемещения в середине пролета будут минимальными. С позиций передачи нагрузок (опорной функции) и стабилизации системы — это наиболее благоприятный случай.

7) Наличие консоли у протеза, как уже отмечено в пункте 3, приводит к дополнительной (кроме жевательной силы) моментной нагрузке на ближний ряд имплантатов в пропорции равной отношению длины консоли к длине пролета, т. е. при консоли, равной половине пролета, суммарная сила на ряд имплантатов более, чем $1,5 F_{ж}$, при консоли равной длине пролета — более чем $2 F_{ж}$ и т. д.

8) С позиций увеличения прочности и жесткости системы (улучшения опорной функции и повышения стабильности) количество имплантатов должно быть больше, а балка массивней. Но всегда следует помнить, что «чем больше металла во рту» на единицу объема, тем хуже кровоснабжение окружающих имплантат тканей. Можно сравнить с авиационным принципом — *очень прочный самолет может не взлететь и тем более не сделает фигур высшего пилотажа*.

Для расчетов по приведенным зависимостям необходимо знание целого ряда исходных данных, как геометрических (анатомических), так и механических параметров, среди которых особое значение имеют механические характеристики мягких и костных тканей особенно в зонах расположения опорных элементов.

При этом анализе мы принципиально не давали готовых рецептов, обсуждая только функциональные взаимосвязи и предполагая, что в каждом клиническом случае должен проводиться «глубокий биомеханический анализ» [9].

Выводы

Необходимо сопоставление и уточнение понятий *фиксация, стабилизация и равновесие* содержащихся в специализированной стоматологической литературе с трактовкой этих понятий общенаучной литературе.

Используя уточненные формулировки понятий *фиксация и стабилизация*, продемонстрировано их механическое содержание на примере анализа съёмных и несъёмных протезов на имплантатах.

С учетом уточненных определений алгоритм анализа любой биомеханической системы может быть следующим:

Проверяется кинематическая неизменяемость системы за счет приложенных связей, т. е. ее неподвижность в трехмерном пространстве, как твердого тела. Система не должна быть механизмом, а связи не должны быть мгновенно изменяемыми.

Из уравнений равновесия (уравнений статики) определяются величины реакций в связях и внутренние усилия в любом сечении.

Проводится оценка *несущей способности системы* — понятие, которое, на наш взгляд, следует ввести и в биомеханический анализ. Критериев оценки *несущей способности системы* может быть два: из *условия прочности* и *условия жесткости* [9,10]. *Условие прочности*, например, позволит оценить прочность окружающих имплантат костных тканей при заданной нагрузке и известных механических характеристиках кости. Из *условия жесткости* могут быть определены перемещения, например, консольной части протеза и оценены с позиции требуемой стабильности системы.

Литература:

1. Гаврилов Е. И., Щербаков А. С. Ортопедическая стоматология: Учебник 3-е изд., перераб. и доп.-М.: Медицина, 1984. — 576 с., ил.
2. Деякі аспекти клінічних і лабораторних етапів виготовлення повних знімних протезів при несприятливих умовах до протезування / Під ред. проф. О. Б. Белікова: Навчальний посібник. — Чернівці — Полтава — Івано-Франківськ, 2012. — 240 с. з іл.
3. Жулев Е. Н. Частичные съёмные протезы (теория, клиника и лабораторная техника). 2-е издание. Н. Новгород. 2005. — 428 с.
4. Леманн К., Хельвиг Э. Основы терапевтической и ортопедической стоматологии. Под ред. С. И. Абакарова, В. Ф. Макеева, пер. с нем, — Львов: ГалДент, 1999. — 262 с. — 298 рис.
5. Миш К. Е. Ортопедическое лечение с опорой на дентальные имплантаты / Карл Е. Миш; пер. с англ. — М.: Рид Элсивер, 2010. — 616 с.: ил.
6. Рожко М. М., Неспрядько В. П. Ортопедична стоматологія. — К: Книга плюс, 2003. — 552 с., з іл.
7. Советский энциклопедический словарь/ Гл. ред. А. М. Прохоров — изд. 4-е — М.: Сов. энциклопедия, 1987. — 1600 с.
8. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. Изд. 8-е. М.: ГРФМЛ. 1972, с. 478.
9. Чуйко А. Н. Биомеханика в стоматологии: Монография /А. Н. Чуйко, И. А. Шинчуковский. — Х.: Изд-во «Форт». 2010. — 516 с., ил.
10. Чуйко А. Н., Левандовский Р. А., Беликов А. Б., Шинчуковский И. А., Алымбаев А. С. Глоссарий основных понятий, терминов, определений и зависимостей применительно к челюстно-лицевой хирургии и стоматологии. Буковинський медичний вісник. 2012, Том 16, № 2 (62). с. 201–212.

11. Чуйко А. Н., Левандовский Р. А. Некоторые аспекты биомеханики условно-съёмных протезов на имплантатах. Ортопедия, травматология и протезирование. Харьков. 2012, № 3. С. 84–94.
12. Чуйко А. М., Левандовский Р. А., Беликов О. Б., Угрин М. М. Аналіз анатомо-топографічних умов для імплантації з використанням комплексу MIMICS-SolidWorks. Новини стоматології, 2012, № 3, с. 66–70.
13. Чуйко А. М., Левандовський Р. А., Угрин М. М., Беликов А. Б. Особливості підбору імплантатів з використанням комплексу MIMICS-ANSYS. Новини стоматології. 2013, № 1, с. 50–55.
14. Mish C. E. Dental Implant Prosthetics. 2005. Elsevier MOSBY, p.637.

ГЕОГРАФИЯ

Место регионов Юга России в инвестиционном потенциале и инвестиционном риске российских регионов

Белоусова Оксана Рахматуллоевна, аспирант
Южный федеральный университет (г. Ростов-на-Дону)

В статье производится ранжировка регионов Юга России по уровню инвестиционного потенциала и риска, рассматриваются их географические особенности, дается попытка анализа сложившейся ситуации.

Ключевые слова: инвестиционный климат, инвестиционный потенциал, инвестиционный риск, ВРП, инфраструктурный потенциал, политический риск.

Инвестиционные процессы отличаются сложностью своей структуры и механизмов функционирования, их участниками являются разнообразные организации различных форм собственности и направлений деятельности, что является условием необходимости комплексного подхода к исследованию всех составляющих процесса, один из которых — оценка состояния инвестиционного климата.

Для начала необходимо разобраться в самом понятии «инвестиционный климат». В ходе написания данной статьи было проанализировано множество определений, предложенных различными учеными и экспертами, на основании которых можно сделать вывод, что инвестиционный климат — это обобщенная совокупность определенных факторов или групп факторов, распространяющихся на то или иное географическое (страна, регион, административно-территориальная единица и т.д.) или финансовое пространство (различные формы экономической организации хозяйства), обуславливающая благоприятность и целесообразность инвестирования в экономическую систему данного субъекта.

Инвестиционный климат состоит из таких структурных подразделений, как инвестиционный потенциал и инвестиционный риск.

Инвестиционный потенциал — количественная характеристика, учитывающая насыщенность территории региона факторами производства (природными ресурсами, рабочей силой, основными фондами, инфраструктурой и т.п.), потребительский спрос населения и другие показатели, влияющие на потенциальные объемы инвестирования в регион [11, 17]. Инвестиционный потенциал непосредственно связан с ёмкостью инвестиционного пространства, которая складывается как сумма объективных предпосылок для инвестиций, зависящая как от

наличия и разнообразия сфер и объектов инвестирования, так и от их экономического «здоровья». Более того это характеристика возможностей данной территории, с точки зрения вложения капитала. Он включает в себя основные экономические и социальные реальности данной территории, наиболее существенные для инвесторов.

Инвестиционный потенциал региона складывается из девяти частных потенциалов. Каждый из них, в свою очередь, характеризуется целой группой показателей:

- природно-ресурсный (средневзвешенная обеспеченность балансовыми запасами основных видов природных ресурсов);
- трудовой (трудовые ресурсы, их количественные и качественные показатели);
- производственный (совокупный результат хозяйственной деятельности населения в регионе);
- инновационный (уровень развития науки и внедрения достижений научно-технического прогресса в регионе);
- институциональный (степень развития ведущих институтов рыночной экономики);
- инфраструктурный (экономико-географическое положение региона и его инфраструктурная обеспеченность);
- финансовый (объем налоговой базы, прибыльность предприятий региона и доходы населения);
- потребительский (совокупная покупательная способность населения региона);
- туристический (наличие мест посещения туристами и отдыхающими, а также мест развлечения и размещения для них).

Все перечисленные факторы влияют на ёмкость инвестиционного пространства, характеризуют возможные масштабы и направления инвестиционной деятельности на данной территории.

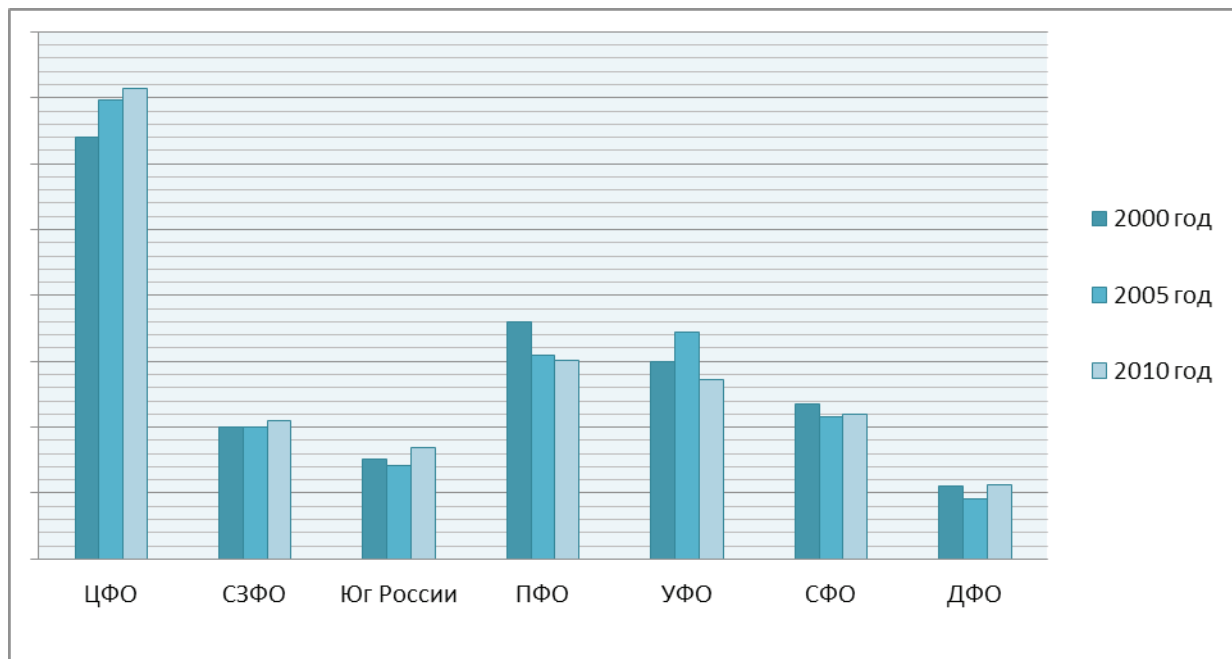


Рис. 1. Удельный вес Юга России в ВРП страны в сравнении с другими федеральными округами, 2000–2010, % [12, 13]

Инвестиционный риск характеризует вероятность потери инвестиций и дохода от них. Он показывает, почему не следует (или следует) инвестировать в данное предприятие, отрасль, регион, страну. Риск как бы суммирует правила игры на инвестиционном рынке. В отличие от инвестиционного потенциала многие из этих правил могут измениться в одночасье — так, как меняются настроение или мнение человека. Поэтому, по сути, риск — характеристика качественная, зависящая от политической, социальной, экономической, финансовой, экологической и криминальной ситуации. Его величина показывает вероятность потери инвестиций и дохода от них. Риски показывают, какими могут оказаться для инвесторов масштабы тех или иных проблем регионе.

В настоящее время РА «Эксперт», исследование которого взято за основу, рассчитывает следующие виды рисков [11, 17]:

- экономический (тенденции в экономическом развитии региона);
- финансовый (степень сбалансированности регионального бюджета и финансов предприятия);
- социальный (уровень социальной напряженности);
- экологический (уровень социальной напряженности);
- криминальный (уровень преступности в регионе с учетом тяжести преступлений, экономической преступности и преступлений, связанных с незаконным оборотом наркотиков);
- управленческий (качество управления бюджетом, наличие программно-целевых документов, степень развитости системы управления, уровень младенческой смертности как интегральный показатель результатов социальной сферы).

Инвестиционный потенциал

Юг России занимает сравнительно скромное место в инвестиционном потенциале страны. В распределении валового регионального продукта он предпоследний и обходит лишь ДФО. Более благоприятна динамика этого показателя в последнее десятилетие (рис. 1). Доля ЦФО в общероссийском ВРП по-прежнему занимает немногим более трети общестрановых показателей, Юг России с натяжкой можно поставить на одну ступень с Северо-Западным и Сибирским федеральными округами, что хорошо для Юга, учитывая мощную природно-ресурсную базу Сибири и давнюю привлекательность Северо-Запада.

Стоит также отметить, что трем ведущим федеральным округам — Центральному, Приволжскому и Уральскому до сих пор не удалось достигнуть докризисных удельных показателей, в отличие от Северо-Западного, Сибирского, Дальневосточного федеральных округов и Юга России.

По стоимости продукции промышленности Юг России не выделяется среди других федеральных округов России, а по стоимости продукции сельского хозяйства на него приходится около четверти общероссийских показателей. При этом регион немного уступает Приволжскому и Центральному федеральным округам, а вместе три региона занимают более 2/3 стоимости сельхозпродукции в целом по стране. А вот промышленность имеет низкий удельный вес в масштабах страны и держится в основном, на нескольких ведущих регионах. Внутри региона имеет место резкая дифференциация, разделяющая регионы на передовые и отстающие, в связи с чем его можно назвать «Россией в миниатюре», ведь все субъекты демонстрируют разный уровень экономического развития.

Таблица 1. Рейтинги составляющих инвестиционного потенциала регионов Юга России 2011–2012 гг. (составлено автором по материалам РА «Эксперт»)

| Ранг потенциала | Регион | Рейтинги составляющих инвестиционного потенциала в 2011-2012 гг. | | | | | | | | | | | | | | | | | | Σ Баллов | |
|-----------------|--------|--|----|-----------------|----|------------------|----|------------|----|-------------------|----|---------------|----|------------------|----|--------------------|----|---------------|----|----------|-----|
| | | Трудовой | | Потребительский | | Производственный | | Финансовый | | Институциональный | | Инновационный | | Инфраструктурный | | Природно-ресурсный | | Туристический | | | |
| | | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | | |
| 1 | 5 | Краснодарский край | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 7 | 1 | 7 | 1 | 4 | 2 | 19 | 1 | 5 | 1 | 26 | 1 | 2 | 10 |
| 2 | 11 | Ростовская область | 2 | 6 | 2 | 8 | 2 | 14 | 2 | 15 | 2 | 6 | 1 | 17 | 5 | 20 | 3 | 33 | 2 | 15 | 21 |
| 3 | 22 | Волгоградская область | 5 | 17 | 5 | 18 | 3 | 20 | 4 | 20 | 4 | 23 | 4 | 42 | 8 | 41 | 4 | 34 | 5 | 36 | 42 |
| 4 | 24 | Ставропольский край | 3 | 13 | 4 | 17 | 4 | 27 | 5 | 26 | 3 | 17 | 3 | 40 | 11 | 53 | 7 | 44 | 3 | 17 | 43 |
| 5 | 33 | Дагестан | 4 | 16 | 3 | 12 | 5 | 55 | 3 | 17 | 5 | 35 | 8 | 70 | 12 | 55 | 6 | 41 | 6 | 50 | 52 |
| 6 | 58 | Астраханская область | 6 | 47 | 6 | 46 | 6 | 62 | 7 | 55 | 6 | 48 | 5 | 49 | 9 | 49 | 2 | 30 | 9 | 64 | 56 |
| 7 | 61 | Кабардино-Балкария | 7 | 59 | 8 | 61 | 7 | 73 | 8 | 66 | 7 | 68 | 6 | 59 | 3 | 11 | 5 | 35 | 8 | 58 | 59 |
| 8 | 62 | Северная Осетия | 8 | 60 | 9 | 65 | 8 | 74 | 9 | 67 | 9 | 71 | 7 | 69 | 2 | 6 | 11 | 75 | 7 | 55 | 70 |
| 9 | 69 | Чечня | 9 | 64 | 7 | 54 | 10 | 76 | 6 | 54 | 10 | 73 | 10 | 75 | 6 | 23 | 10 | 72 | 13 | 82 | 81 |
| 10 | 74 | Карачаево-Черкесия | 10 | 72 | 11 | 75 | 9 | 75 | 12 | 76 | 11 | 75 | 9 | 72 | 10 | 50 | 9 | 60 | 4 | 34 | 85 |
| 11 | 76 | Адыгея | 11 | 74 | 10 | 73 | 11 | 77 | 10 | 74 | 8 | 70 | 11 | 77 | 7 | 39 | 12 | 80 | 10 | 73 | 90 |
| 12 | 77 | Ингушетия | 12 | 76 | 12 | 76 | 13 | 83 | 11 | 75 | 13 | 80 | 13 | 82 | 4 | 17 | 13 | 81 | 11 | 75 | 102 |
| 13 | 82 | Калмыкия | 13 | 77 | 13 | 81 | 12 | 81 | 13 | 81 | 12 | 77 | 12 | 79 | 13 | 78 | 8 | 48 | 12 | 80 | 108 |

На основании данных, представленных в таблице 1, субъектам, входящим в состав Юга России, было присуждено определенное количество баллов, соответствующее месту субъекта в отдельном виде потенциала.

Все регионы были разделены на три группы по уровню инвестиционного потенциала.

К первой относятся Краснодарский край, Ростовская, Волгоградская области и Ставропольский край. Данные регионы стабильно занимают высшие строчки данного рейтинга на протяжении многих лет, находясь в первой двадцатке регионов практически по всем видам потенциала. Некоторые исключения составляют лишь природно-ресурсный потенциал, по которому лидер на Юге России находится лишь на 26 месте (Краснодарский край) среди регионов России. Ростовская область не опускается ниже 33го места. Все показатели Волгоградской области располагаются на уровне двадцатых мест, ниже опустились только природно-ресурсный, туристический, инфраструктурный и инновационный потенциалы. Ставропольский край имеет проблемы с инновациями, инфраструктурой и природно-ресурсным видом потенциала. Данные регионы выделяются мощной промышленной базой, высококвалифицированными трудовыми ресур-

сами, а также обладают наиболее выгодным сочетанием агроклиматических ресурсов [7].

Вторую группу составляют республика Дагестан, Астраханская область, а также Кабардино-Балкария и Северная Осетия — Алания. Это регионы резких контрастов, по одним видам потенциала занимающие довольно высокие места, но заметно проседающие по остальным. Лидером в данной группе является Дагестан, по финансовому и потребительскому потенциалам уступающий лишь Краснодарскому краю и Ростовской области, чему во многом способствует реализация принятой в республике стратегии развития до 2025 года, а также его превосходство среди других республик по некоторым видам инвестиционного потенциала. Кабардино-Балкария и Северная Осетия выделяются высоким развитием инфраструктуры, уступая только Краснодарскому краю по этому показателю [16]. Во многом это объясняется развитием ОАО «Курорты Северного Кавказа», а глава Кабардино-Балкарии Арсен Канок в одном из своих интервью указал на огромнейшую роль инфраструктурного комплекса вообще, а также транспортного в частности, для развития республики [15].

К третьей группе были отнесены наименее развитые республики Северного Кавказа — Чечня, Ингушетия

Таблица 2. Рейтинг составляющих инвестиционных рисков регионов Юга России 2011–2012 гг.
(составлено автором по материалам РА «Эксперт»)

| Рейтинг риска | | Регион | Рейтинги составляющих инвестиционного риска в 2011-2012 гг. | | | | | | | | | | | | Σ баллов |
|---------------|----|-----------------------------|---|----|---------------|----|------------|----|--------------|----|---------------|----|----------------|----|----------|
| 2011-2012 | | | социальный | | экономический | | финансовый | | криминальный | | экологический | | управленческий | | |
| Юг | РФ | | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | Юг | РФ | |
| 1 | 2 | Краснодарский край | 1 | 14 | 1 | 3 | 1 | 19 | 3 | 16 | 3 | 10 | 1 | 7 | 10 |
| 2 | 6 | Ростовская область | 2 | 26 | 2 | 4 | 5 | 49 | 1 | 3 | 4 | 18 | 4 | 22 | 18 |
| 3 | 8 | Ставропольский край | 5 | 51 | 4 | 11 | 2 | 23 | 5 | 46 | 12 | 51 | 6 | 46 | 34 |
| 4 | 10 | Республика Адыгея | 6 | 52 | 6 | 31 | 7 | 73 | 2 | 8 | 1 | 3 | 2 | 10 | 24 |
| 5 | 23 | Волгоградская область | 3 | 27 | 9 | 54 | 3 | 26 | 6 | 52 | 9 | 36 | 7 | 63 | 37 |
| 6 | 53 | Астраханская область | 7 | 59 | 7 | 33 | 4 | 37 | 10 | 72 | 13 | 53 | 3 | 15 | 44 |
| 7 | 65 | КБР | 8 | 68 | 8 | 50 | 6 | 72 | 8 | 66 | 7 | 23 | 5 | 39 | 42 |
| 8 | 66 | КЧР | 10 | 73 | 5 | 19 | 8 | 75 | 4 | 42 | 2 | 9 | 11 | 79 | 40 |
| 9 | 73 | Северная Осетия - Алания | 4 | 42 | 11 | 74 | 11 | 80 | 9 | 67 | 10 | 38 | 12 | 80 | 57 |
| 10 | 79 | Республика Дагестан | 9 | 71 | 3 | 8 | 10 | 79 | 13 | 83 | 6 | 20 | 9 | 73 | 50 |
| 11 | 81 | Республика Калмыкия | 13 | 82 | 10 | 60 | 9 | 76 | 7 | 54 | 11 | 47 | 10 | 78 | 60 |
| 12 | 82 | Республика Ингушетия | 12 | 76 | 13 | 79 | 12 | 82 | 11 | 80 | 8 | 31 | 13 | 82 | 69 |
| 13 | 83 | Республика Чечня | 11 | 74 | 12 | 78 | 13 | 83 | 12 | 82 | 5 | 19 | 8 | 66 | 61 |

и Карачаево-Черкесия, а также две республики, входящие в состав Южного Федерального Округа — Калмыкия и Адыгея. По сравнению с рейтингом позапрошлого года, только Чечня и Ингушетия меняются друг с другом местами — сейчас Чечня на 9 месте среди регионов Юга, а Ингушетия на предпоследнем. В 2009–2011 гг. году было наоборот.

Хочется также отметить, что Республика Калмыкия, располагающаяся на последнем месте данного рейтинга — всё же не самый отсталый регион России (83 позицию занимает Ненецкий АО), а среди отдельных видов потенциала лишь в производственном Республика Ингушетия находится на 83 месте.

Кроме того, необходимо учесть, что по некоторым видам инвестиционного потенциала республики Кавказа располагаются выше, чем ведущие регионы. К примеру, по инфраструктурному потенциалу Республика Ингушетия занимает 17 место в России (4 среди субъектов Юга), а один из ярких лидеров — Ростовская область — 20-е.

Инвестиционные риски

Инвестиционный риск состоит из следующих частных видов: экономического, финансового, социального, экологического, управленческого, криминального.

Следует добавить, что рейтинговым агентством «Эксперт» до 2011 года рассчитывался ещё один вид рисков —

законодательный. Но начиная с середины 2000-х годов, когда началось строительство «вертикали власти», инвестиционное законодательство в регионах России стало серьезно выравниваться, в результате чего прописанные в нормативных актах правила ведения бизнеса в разных регионах России практически сгладились. Администрации регионов активно копировали законы, регулирующие инвестиционную деятельность друг у друга, а в последние годы принимали модельные документы, спущенные федеральным центром. В таких условиях рейтинговое агентство оценивать законодательный риск посчитало бессмысленным, и решило полностью от него отказаться.

На основании данных, представленных в таблице 2 всем регионам, как и в случае с инвестиционным потенциалом, было присвоено определенное количество баллов, основанное на месте, занимаемом им по тому или иному виду рисков. Количество баллов по отдельным видам инвестиционных рисков оценивалось на основе места каждого их регионов Юга в общероссийской ранжировке.

Данные таблицы дают возможность разделить регионы на три группы.

К первой относятся регионы, которые по уровню инвестиционных рисков занимают наилучшее положение на Юге России — Краснодарский край, Ростовская область, Республика Адыгея, Ставропольский край, Волгоградская область. Показатели Краснодарского края распределились между 3 и 19 местами, что является лучшим

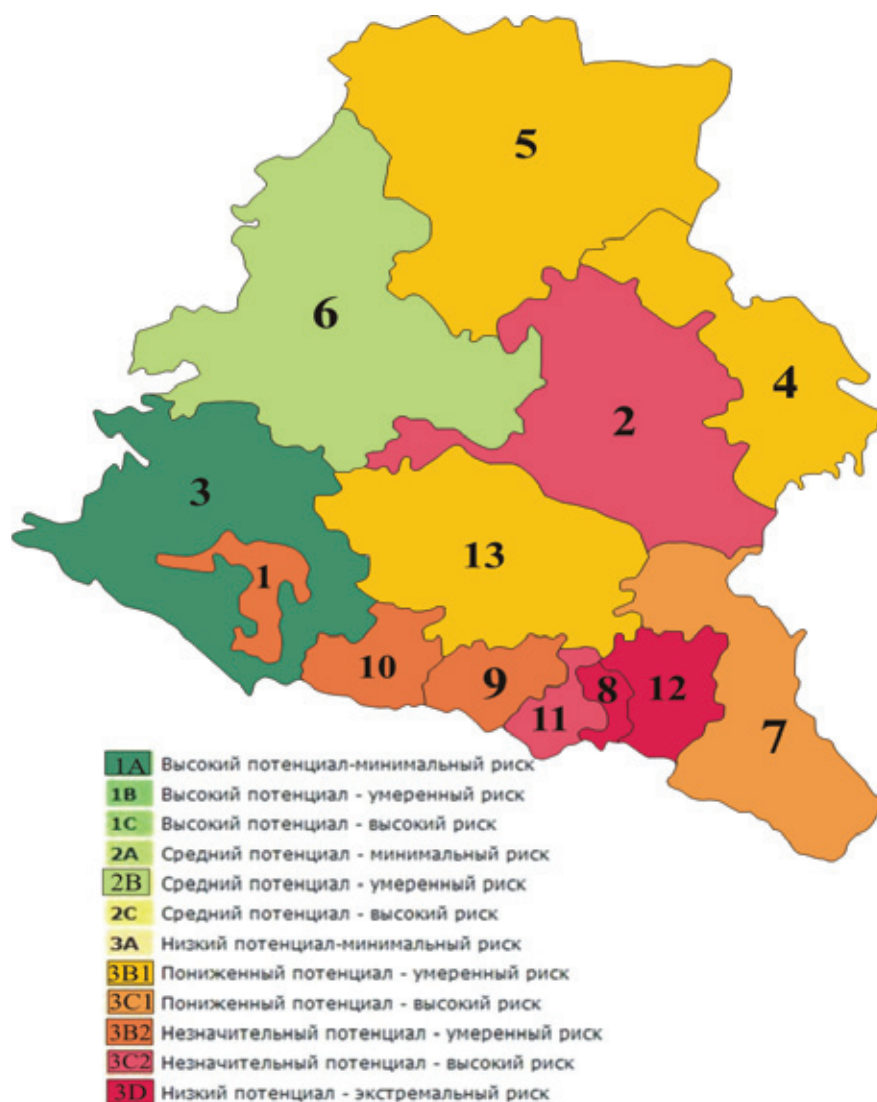


Рис. 2. Рейтинг инвестиционного климата регионов Юга России, 2012 год, (составлено автором по материалам Рейтингового Агентства «Эксперт», 2012 год)*.

*Цифрами на карте обозначены: 1 — Адыгея, 2 — Калмыкия, 3 — Краснодарский край, 4 — Астраханская область, 5 — Волгоградская область, 6 — Ростовская область, 7 — Дагестан, 8 — Ингушетия, 9 — Кабардино-Балкария, 10 — Карачаево-Черкесия, 11 — Северная Осетия — Алания, 12 — Чечня, 13 — Ставропольский край.

результатом во всем исследуемом регионе. Ростовская область — один из самых безопасных регионов, однако уровень финансовых рисков оставляет желать лучшего. Также нельзя не отметить, что губернатор Ростовской области Владимир Голубев был включен в шестерку «эффективных управленцев» по мнению журнала «Эксперт». Республика Адыгея политически стабильна и относительно спокойна на фоне остальных республик Северного Кавказа, а для инвесторов чрезвычайно важна стабильность обстановки в регионе. Хотя республика потеряла свои позиции по уровню финансовых рисков, однако экологическая и криминогенная обстановка в республике — одна из лучших в России.

Показатели Ставропольского края не опускаются ниже 51-го места по отдельным видам риска. Край заметно про-

игрывает лидерам Юга России (Краснодарскому краю и Ростовской области), что во многом объясняется социальной и межнациональной напряженностью региона, однако недавно назначенный губернатор Валерий Зеренков заручился федеральной поддержкой, что можно рассматривать как благоприятное явление.

Вторую группу образуют Дагестан, Карачаево-Черкесская, Кабардино-Балкарская республики и Астраханская область. Данные субъекты набрали от 40 до 50 баллов, отличаются резкой дифференциацией. По одним из показателей рисков, занимающие одни из лидирующих позиций в регионе, но заметно проседающие по остальным. Республикам необходимо доказать инвесторам, что они безопасны для вложения в их экономику капиталов. В Кабардино-Балкарии сильна угроза роста радикального

исламизма, а также межнациональные отношения отличаются крайней нестабильностью [8]. Кроме того внутри-элитные конфликты и коррупционные скандалы негативно влияют на состояние инвестиционных рисков в республике. В Карачаево-Черкесии также сильна коррупция, что отталкивает потенциальных инвесторов. Республика Дагестан имеет статус одной из самых нестабильных республик в стране, кроме того совсем недавно произошла смена главы республики и Рамазан Абдулатипов пока является временным исполняющим обязанности президента, что сказывается на невыстроенности отношений с местной элитой и настораживает инвесторов [10].

Третью группу инвестиционных рисков образуют следующие республики: Северная Осетия, Калмыкия, Чечня, Ингушетия. Главы Северной Осетии и Ингушетии не пользуются достаточной популярностью в своих республиках, а ситуацию в последней ещё более усложняют окончание президентства Юнус-Бека Евкурова и его острый конфликт с Рамзаном Кадыровым. В целом данные субъекты можно назвать наиболее уязвимыми с точки зрения инвестиционных рисков, ситуация в которых нуждается в немедленном исправлении. Огромное количество этнических конфликтов неблагоприятно сказывается на уровне политических рисков региона.

Инвестиционный климат

В условиях рыночной экономики активная роль в региональном стратегическом развитии принадлежит инвестиционному климату, обеспечение благоприятного состояния которого способствует экономическому росту региона, повышению уровня благосостояния населения, а также сказывается на эффективности производства и использования имеющихся ресурсов.

Литература:

1. Атлас социально-политических проблем, угроз и рисков Юга России. ТЗ / Г.Г. Матишов, В.А. Авксентьев, Л.В. Батиев; Российская академия наук, Южный научный центр. — Ростов-на-Дону: Изд-во Южного научного центра РАН, 2009. — 260 с.: цв. ил., фот., карт.; 60*90/8.
2. Атлас социально-экономического развития Юга России / под ред. А.Г. Дружинина. М.: Вузовская книга, 2011. — 144 с.
3. Д. Виноградов. Острая рейтинговая недостаточность. // Свободная пресса, 17.12.2012.
4. В. Высоков. Доктрина инновационного развития Юга России. // Эксперт, 24.05.2010.
5. А. Галушка, А. Голубович, А. Идрисов, А. Осипов, Б. Титов, М. Шпигель, Е. Юрьев. Модернизация экономики России. Кардинальное улучшение инвестиционного климата. Ежегодный экономический доклад. — М.: Деловая Россия, 2010.
6. Инвестиции учебное пособие / Игонина Л.Л., под ред д-ра эк. Наук, проф. В.А. Слепова. — М.: «Экономистъ», 2005—478 с.
7. Кизицкий М.И., Краславская Г.И., Родзянко Н.Г. Экономический потенциал Южного федерального округа России: Учеб. пособие. — Ростов н/Д: ЛОГОС, 2001 г.
8. Коммуникационный холдинг «Минченко&Консалтинг». Двенадцатый рейтинг политической выживаемости губернаторов, от 18.03.2013.
9. Максимов И.Б. Оценка предпринимательской среды и инвестиционного климата с помощью рейтингов и индексов // Байкальский государственный университет экономики и права. 2010. № 5, с 129—134.
10. Рейтинговое агентство АК&М. Исследование относительной кредитоспособности субъектов России, 2012.

В последнее время более пристальное внимание стало уделяться проблемам инвестиционного климата, а также необходимости его улучшения на общероссийском уровне.

На основании анализа инвестиционного потенциала и рисков всем субъектам Юга России был присвоен определенный рейтинг инвестиционного климата (рис. 2) от уровня 1А — высокий потенциал-минимальный риск до уровня 3D — низкий потенциал-экстремальный риск [11, 17].

Лидером среди всех субъектов Юга России является Краснодарский край, на протяжении последних пятнадцати лет не опускавшийся ниже уровня 2В — средний потенциал-умеренный риск, и держащийся на уровне таких регионов, как Москва, Московская область, Санкт-Петербург и Татарстан.

Следующая после Краснодарского края Ростовская область с начала ведения исследований инвестиционного климата рейтинговым агентством «Эксперт» в 1996 году, отличается очень стабильными показателями, от уровня 2В до 2А. Донской регион заметно проигрывает своему успешному соседу по уровню развитости инфраструктуры и туризма. В связи с чем в Ростовской области была разработана стратегия развития транспортного комплекса до 2030 года, определяющая цели, задачи, приоритеты и направления развития всех видов транспорта, обеспечивающих социально-экономическое развитие, повышение конкурентоспособности экономики и качества жизни населения области. Также в данном субъекте активно реализуется стратегия привлечения инвестиций, благодаря которой формируется прогрессивное инвестиционное законодательство, благоприятный налоговый режим, а также имидж региона, привлекательный для инвестиционных вливаний в его экономику.

11. Рейтинговое Агентство «Эксперт», журнал «Эксперт.
12. Регионы России. Социально — экономические показатели. 2012: Статистический сборник / Росстат. — М., 2012—990 с.
13. Российский статистический ежегодник. 2012: Статистический сборник / Росстат. — М., 2012—786 с.
14. Стратегия социально-экономического развития Южного Федерального округа на период до 2020 года. Правительство РФ от 5.09.2011, № 1538-р.
15. Материалы сайта «15-й регион — портал Северной Осетии»: <http://region15.ru>
16. Материалы сайта «Курорты Северного Кавказа»: <http://ncrc.ru>
17. Материалы сайта РА «Эксперт»: <http://raexpert.ru>

ЭКОЛОГИЯ

Экологическая уязвимость почвенно-растительного покрова юго-восточной части Большеземельской тундры

Колосов Дмитрий Федорович, аспирант
Северный арктический федеральный университет (г. Архангельск)

Наблюдения за нефтегазовыми инженерными объектами на территории юго-восточной части Большеземельской тундры наглядно свидетельствуют о необходимости предупреждения негативных нарушений экологической обстановки. Техногенные воздействия на почвенно-растительный покров и появление дополнительных источников талого и дождевого стока часто более теплых вод с инженерных объектов приводят к активизации негативных склоновых процессов и изменениям экологической устойчивости экосистем на нарушенных площадях и далеко за их пределами. В комплексе негативные природные процессы при их активизации приводят к полному разрушению уязвимых естественных тундровых экосистем и создают аварийные ситуации на инженерных объектах. В ряде районов освоения юго-восточной части Большеземельской тундры назрела острая необходимость в разработке и проведении мер предупреждения и предотвращения экологических последствий, негативных деградиационных процессов.

Для разработки специальных мер инженерной защиты и биологической рекультивации, направленных на предупреждение и предотвращение экологических последствий, крайне необходимо количественно оценить экологическую уязвимость ПРП.

При геоэкологическом районировании уязвимости ПРП были определены природные и антропогенные факторы, влияющие на ПРП: климатические, гидрологические, геологические, физико-географические, физико-механические и химические. Источниками информации характеристик природной среды и антропогенной нагрузки послужили справочные пособия [1, 3, 4, 6] и научные публикации [2, 5], топографические и навигационные карты [7, 8], а также данные производственного экологического мониторинга при помощи которых были выполнены необходимые расчеты.

Выполненное районирование позволило получить достаточно обоснованную картину современной экологической уязвимости ПРП исследуемой территории (рисунок 1.). Анализ величины факторов на рассматриваемой тер-

ритории произведен по принципу, чем больше влияние фактора, тем выше балл — при использовании балльных оценок. Таким образом, чем выше суммарный рейтинг и сумма баллов, тем большему воздействию подвергается почвенно-растительный покров и тем уязвимей условная зона и менее благоприятна для освоения. После расчета значений по каждому фактору строилась тематическая карта, на которую накладывалась сетка в масштабе 1:10000 в проекции WGS 84 с размером ячеек 1 на 1 км, каждой ячейке и лежащей под ней территории присваивалось определенное значение.

Расчет проводился с применением ГИС технологий сред MapInfo (Vertical Mapper) и QGIS (Quantum GIS). В результате расчета получилась обоснованная карта нагрузки на почвенно-растительный покров исследуемой территории

Территории с очень высокой экологической уязвимостью ПРП (20–25 баллов) в настоящее время в исследуемом регионе не зафиксировано. Это связано, прежде всего, со сравнительно небольшими объемами разработки нефтегазовых месторождений по отношению к площади исследуемого региона, прежде всего из-за его удаленности и труднодоступности, а также с высоким процентом распространения относительно устойчивых бо-лотных типов почв.

Относительно высокой экологической уязвимостью (15–20 баллов) характеризуются области вблизи реки Колва на территории Роговского нефтяного месторождения; вблизи озера Порчты на территории Висового участка недр; долина реки Колвавис на территории Колвинского нефтяного месторождения; по берегам реки Подверью на территории Подверьюского месторождения; озера Ватьярты на территории Хосолтинского нефтяного месторождения; в долине реки Пайвис, Неруя, сопки Севреймыльк на территории Северо-Воргамусюрского участка недр, в низовьях реки Большая Нерцета на территории Берганты-Мыльского участка недр. Отличительной чертой всех этих территорий является высокая плотность рек и озер на 1 км², наличие болот, зон аккумуля-

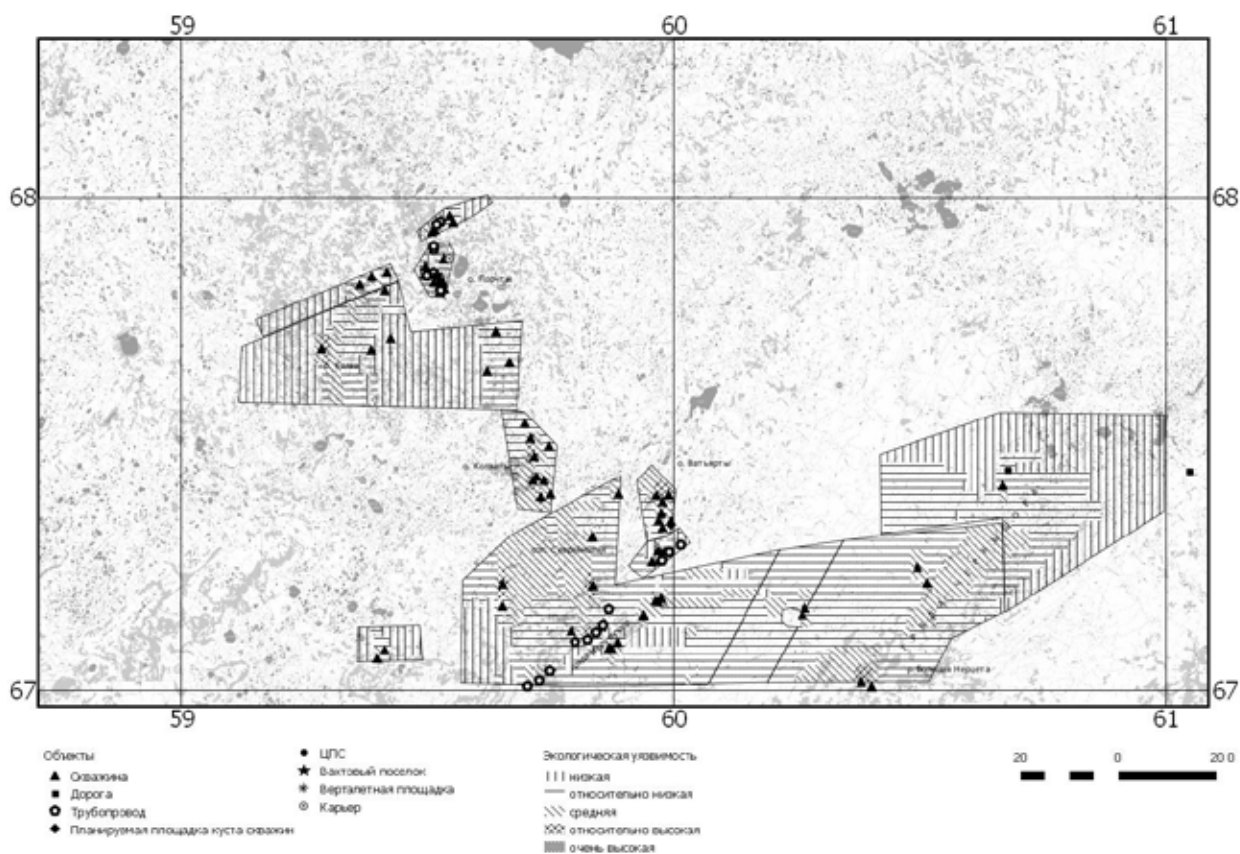


Рис. 1. Экологическая уязвимость почвенно-растительного покрова юго-восточной части Большеземельской тундры

ляции рельефа и присутствие многолетнемерзлых пород со сплошным покрытием региона на севере и с островным распространением на юге. Высокая плотность объектов нефтегазовой инфраструктуры, в частности скважинных кустов, позволяет отнести данные территории к зонам с высокой экологической уязвимостью ПРП.

Загрязнение ПРП может возникать еще на этапе бурения скважины и впоследствии в процессе её эксплуатации различными химическими веществами, в том числе и нефтью. Основными причинами этого является несовершенством технологий и эксплуатационной ненадежностью оборудования, слабой исполнительной дисциплиной и отсутствием действенного ведомственного контроля. Главными источниками загрязнения являются устье скважины, устьевое оборудование, промплощадка, места хранения химреагентов, шламовые амбары и транспортные средства.

В ходе полевых исследований нарушенных почв на территории скважинных кустов юго-восточной части Большеземельской тундры в 80% проб были обнаружены загрязняющие вещества, в том числе бензапирены и нефтеуглеводороды с концентрациями, превышающими установленные нормы ПДК и ОДК.

Средней экологической уязвимостью (10–15 баллов) характеризуется южная часть Висового участка недр, долина реки Колва, район от озера Колваты до гряды Но-

румусюр, северная часть Хосолтинского участка недр, а также район к востоку от гряды Чернышова. Климатические характеристики и характер заболоченности незначительно влияют на ПРП, но суровость природных условий требует отнесения данных территорий к зонам средней степени экологической уязвимости.

Южная часть Висового участка недр характеризуется суровыми климатическими характеристиками, наличием зон аккумуляции рельефа. Присутствие сплошного распространения вечномерзлых пород увеличивают экологический риск освоения данной территории. Здесь также ведется интенсивная разработка Висового нефтяного месторождения и связанное с этим строительство различных объектов нефтегазовой промышленности, в том числе дорог и межпромысловых трубопроводов.

Долина реки Колва на территории Пончатинского участка недр характеризуется густой речной сетью, суровыми климатическими характеристиками и повсеместным распространением многолетнемерзлых пород. Здесь также проходит трасса нефтепровода от месторождений Центрального Хорейверского поднятия до ДНС Мусюршор.

Район от озера Колваты до гряды Норумусюр на территории Колвинского и Северо-Воргамусюрского участков недр характеризуется высокой заболоченностью и развитой густой речной сетью, многолетнемерзлые породы

здесь также имеют сплошное распространение, что сказывается на особенностях освоения региона. Здесь расположены Южно-Ладотынская, Южно-Ладотынская II, Западно-Хосолтинская, Западно-Хосолтинская II перспективные структуры, опоискованные бурением Ладотынская, Западно-Подверьюская, Хоседаю-Неруюская структуры.

Северная часть Хосолтинского участка недр характеризуется суровыми климатическими условиями, низменным рельефом в котором могут накапливаться загрязняющие вещества, а также сплошным распространением многолетнемерзлых пород. На территории участка расположено активно осваиваемое Хосолтинское нефтяное месторождение.

Район к востоку от гряды Чернышова характеризуется неблагоприятным температурным режимом. Здесь часты резкие перепады температуры в течение суток, зимние оттепели и летние похолодания. Территория предрасположена к землетрясениям. В понижениях рельефа находится зона аккумуляции загрязняющих веществ. Здесь расположены опоискованные бурением Берганты-Мыльская, Верхнероговская, подготовленные Восточно-нерцентинская и Нерцентинская II перспективные структуры.

Нарушение почвенно-растительного покрова перечисленных регионов происходит при отсыпке кустовых оснований, прокладке дорог и нефтегазопроводов, эксплуатации карьеров при добыче строительных материалов, других видах работ, связанных с резкой, рыхлением и перемещением грунта (например, выемка торфа при со-

здании противопожарных полос и в других целях).

Относительно низкой экологической уязвимостью (5–10 баллов) характеризуется большая часть изучаемого региона юго-восточной части Большеземельской тундры с разнообразным сочетанием влияющих факторов и устойчивостью ПРП к воздействию этих самых факторов, но с одинаковой суммой набранных баллов. Здесь не ведется разработка и добыча углеводородного сырья, и отсутствуют трассы трубопроводов. Характер заболоченности, распространение многолетнемерзлых пород в сочетании с комплексом почв и растительности незначительно влияют на устойчивость ПРП региона, но суровые климатические условия, являются причиной снижения скорости восстановления ПРП в случае его нарушения, что относит данные территории к зонам с относительно низкой уязвимостью.

Низкой экологической уязвимостью (0–5 баллов) характеризуются северо-западная и центральная части Пончатинского участка недр, северо-восточная часть Роговского участка недр и юго-запад Северо-воргамусюрского участка недр.

Оценка устойчивости и деградации почвенно-растительного покрова на исследуемой территории юго-восточной части Большеземельской тундры позволяет разработать рекомендации по освоению месторождений нефти и газа в части рекультивации почвенно-растительного покрова, регламентировать хозяйственную деятельность, выбрать оптимальные варианты дальнейшего освоения природных ресурсов заполярной тундры.

Литература:

1. Воронцов А. А., Жуков Ю. Н., Федорова Е. В. Искажение гидрометеорологической информации при визуализации в геоинформационных системах. — *Новости ЕСИМО*, вып.6, 2001, 6 с.
2. Губайдуллин М. Г., Коробов В. Б., Коновалова Н. В. Особенности формализации характеристик природной среды методами ГИС-технологий при освоении нефтяных месторождений. — *Нефтепромышленное дело*, 2002, № 11, с. 39–44
3. Климатический справочник по Ненецкому автономному округу Архангельской области для сельского хозяйства / ред. Д. С. Филимонова. Архангельск: Архангельское книжное издательство, 1962. 131 с. .
4. Вечная мерзлота и освоение нефтегазовых районов / отв. ред. Е. М. Мельников, С. Е. Гречищев. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
5. Гречищев С. Е., Чистотинов Л. В., Петрова Р. Г. и др. Геокриологические и гидрогеологические проблемы освоения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. — М.: Геоинформмарк, 1992, 58 с. ; Маськов М. И. Геокриологические условия Европейского Севера России. // «Литосфера и гидросфера Европейского Севера России. Геоэкологические проблемы». — Екатеринбург: УрО РАН, 2001, с. 183–204
6. Экогеология России. Т.1. Европейская часть. // Гл. ред. Г. С. Варганиян. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000, 300 с.
7. Архангельская область, Ненецкий автономный округ: карта административно-территориального устройства субъектов российской федерации / ост. и подгот. к изданию ФГУП «Аэрография» СПб; гл. ред. Т. А. Купидонова. — 1:1000000. — СПб.: ФГУП «Уральская картографическая фабрика», 2008–1 л. (1 карта): многокрас. — (Общегеогр. карты Рос. Федерации)
8. Атлас нефтегазоносности и перспектив освоения запасов и ресурсов углеводородного сырья Ненецкого автономного округа. — Нарьян-Мар, ГУП НАО «НИАЦ», 2004 г., _с.

Виды сточных вод и основные методы анализа загрязнителей

Кутковский Константин Александрович, аспирант
Российский государственный социальный университет (г. Москва)

Воды и атмосферные осадки, которые поступают в естественные водоемы с территорий населенных пунктов и предприятий, принято называть сточными водами. Отвод данных вод осуществляется посредством канализации или естественным путем.

Сточные воды это в большей или меньшей степени загрязненные в результате использования бытовые, промышленные и производственные воды, содержащие отбросы или отработанное тепло, а также отличающиеся изменившимися в отрицательную сторону физическими и биологическими свойствами [1, с. 1287]. Из этого можно сделать вывод о, безусловно, антропогенном происхождении и неоднородности стоков, а также о сложности очистки или утилизации данного продукта антропогенной деятельности.

Из-за ухудшившихся биологических и физических свойств, сточные воды пагубно влияют на развитие всей биосферы. Сточные воды провоцируют и ускоряют эвтрофикацию водоемов из обильного содержания в них фосфора и азота, а также приводят к изменению естественных биоценозов и, как следствие, гибели биологических видов, загрязнению объектов водопользования, используемые человеком в качестве источника питьевой воды. Так же происходит обильное воздействие на артезианские бассейны: их биологическая чистота несопоставима с их состоянием до научно-технической революции, обусловившей эру активного антропогенного воздействия на природу.

Вследствие научно-технической мысли, ее развития и повсеместном внедрение, источниками сточных вод являются практически любые антропогенные объекты: жилые дома, образовательные учреждения, медицинские объекты, торговые склады и точки реализации товаров, различные сервисные организации, АЗС, металлургическая промышленность, пищевая промышленность, фармацевтической промышленность, сельскохозяйственные угодья и т. д.

Для контроля качества и объема поступления сточных вод разрабатываются законы и подзаконные акты, происходит внедрение и разработка как новых, так и уже зарекомендованных себя методов очистки. Формируется всесторонний анализ сточных вод, позволяющий разработать оптимальный алгоритм очистки (с учетом характера загрязнителей) для каждого промышленного объекта и оценить качество воды, покидающей очистные сооружения. Любые нарушения влекут за собой штрафы и санкции, прописанные как в Водном кодексе РФ, так и в Уголовном кодексе РФ.

Определим, какими характеристиками обладают сточные воды, и как загрязнители влияют на процесс

очистки. Для начала определим классификацию сточных вод и особенности отдельных их типов.

Виды сточных вод

1) Хозяйственно-бытовые. Этот тип стоков в основном поступает из жилых домов, а так же объектов социального пользования (больницы, образовательные учреждения, торговые центры и т. д.). Отведение происходит посредством хозяйственно-бытовой и общесплавной канализации. Состав загрязнителей: 58% — органика, 42% — минеральные вещества. Особенность — высокое содержание азотсодержащих соединений и фосфатов, значительная степень фекального загрязнения.

2) Промышленные сточные воды. Основной загрязнитель — объекты промышленности и предприятия различного рода деятельности. Отведение происходит посредством промышленной канализации. Спектр загрязнителей характеризуется видом промышленной деятельности. Содержат органические и неорганические элементы. Наибольшую опасность для гидросферы и человека представляют нефтепродукты, органические красители, фенолы, поверхностно-активные вещества, сульфаты, хлориды и тяжелые металлы.

3) Поверхностные сточные воды. Основное поступление из дождевых и талых вод, формирующихся из атмосферных осадков, проникающих в почву и стекающих в водоемы посредством ливневой канализации с территории промышленных предприятий и населенных пунктов. Спектр возможных загрязнителей широк и определяется особенностями территории и видом антропогенной деятельности, преобладающей в районе стока.

Анализ сточных вод

Рассмотрим основные источники поступления сточных вод в экосистемы: промышленные и бытовые объекты, на них приходится основная доля поступающих на очистные сооружения стоков. [2, с. 59] Анализ именно этих источников позволяет понять специфику оценки качества сточных вод и спектр загрязнителей. На выходе из очистных сооружений не должно быть примесей, содержащихся в характерной для той или иной природы стоков, либо их количество должно быть минимальным (определяется нормативами).

Для анализа качества вод используются следующие параметры: температура, цветность, запах и прозрачность. Физические показатели качества воды малоинформативные и понятны на интуитивном уровне. Для всех

типов сточных вод характерна повышенная температура, специфический запах и сниженная прозрачность (определяется по шрифту). Изменение цветности (измеряется в градусах платинокобальтовой шкалы) присущи промышленным сточным водам и зависят от вида производственной деятельности.

Так же важным методом анализа качества вод является химический анализ. Реакция (рН) коммунальных сточных вод, как правило, нейтральна (6,5–8), а реакция промышленных стоков подвержена изменениям от сильнокислой (рН менее 3) до сильнощелочной (рН более 11) в зависимости от источника поступления. В процессе очистки реакция сточных вод должна стать нейтральной.

Для определения доли примесей как сухих, так и растворенных, используется такой параметр как «сухой остаток», отражающий степень загрязненности воды примесями. Данный параметр берется из нефилтрованной пробы. Он указывает на количество в воде примесей, как взвешенных (руда, окалина, известняк, кокс и т. д.), так и растворенных. В зависимости от содержания примесей сточные воды принято делить на четыре категории: первая — сухой остаток менее 500 мг/л (коммунальные сточные воды), четвертая — выше 30 000 мг/л. Отметка 5000 мг/л разделяет вторую и третью категорию. [4, с. 76]

Процесс очистки сточных вод от взвешенных примесей происходит путем механических методов очистки, самым распространенным из которых является метод отстаивания. Для прогнозирования эффективности этого метода используется показатель «оседающие вещества». Проба воды помещается в цилиндр, после чего оценивается, какое количество взвешенных веществ осядет за 2 часа. Измеряется в мг/л и процентах от сухого остатка. Оседающие вещества в городских сточных водах, как правило, составляют 65–75%.

Необходимость вычисления сухого остатка обусловлена дальнейшей обработкой промышленных и коммунальных стоков при помощи биологических методов (бактерии), и на этой стадии количество взвешенных веществ не должно превышать 10 г/л.

Следующим важным параметром сточных вод является зольность твердых примесей. Прокаливание сухого остатка проводят при температуре «красного» каления (500–600°C), в результате чего часть химических соединений сгорает и улетучиваются в виде оксидов, углерода, водорода, азота, серы и других примесей, вес пробы уменьшается. Массу остатка, называемого золой, делят на первоначальную массу образца и получают зольность, выраженную в процентах. Для городских сточных вод характерна зольность 25–35%.

Еще одним показателем является окисляемость. Данный показатель является санитарным, сфера его актуальности распространяется также не только на сточные воды. Окисляемость указывает на степень загрязнения воды органическими и неорганическими веществами, но также он используется для оценки степени органического

загрязнения. Окисляемость определяется при помощи аэробных гетеротрофных бактерий (биохимическая окисляемость) и посредством химических реакций (химическая окисляемость — бихроматная, иодатная и т. д.).

Единицами измерения окисляемости является потребление кислорода: БПК и ХПК — биохимическое и химическое потребление кислорода, выраженное в миллиграммах O_2 на литр. Большое значение имеет соотношение БПК к ХПК, которое позволяет прогнозировать, какое количество загрязнителей может быть удалено при помощи биологических методов очистки. [3, с. 141]

Химическая окисляемость определяет общее содержание в воде восстановителей — органических и неорганических, реагирующих с окислителями. В сточных водах преобладают органические восстановители, поэтому, как правило, всю величину окисляемости относят к органическим примесям воды.

Важнейшими показателями для сохранности гидросферы и эффективности биологической очистки является содержание фосфора и азотистых соединений. В сточных водах определяется содержание общего, нитратного, нитритного и аммонийного азота. От количества соединений азота зависит степень эффективности биологической очистки. При малом содержании азота в производственных сточных водах на стадии биологической очистки добавляют в воду хлористый аммоний. В хозяйственных стоках концентрация соединений азота всегда высока, из-за обилия поступающих веществ, связанных с процессом человеческой жизнедеятельности.

Концентрация фосфора в сточных водах всегда превышает ПДК. Основой поступления фосфатов в сточные воды служат фосфатные компоненты синтетических моющих средств и фекальные стоки, поступающие как из хозяйственной, так и из промышленной сферы. Избыток фосфорсодержащих соединений является одной из главных причин эвтрофикации водоемов.

Следующими показателями состояния сточных вод являются сульфаты и хлориды. Концентрация сульфатов в городских сточных водах обычно находится на уровне 100–150 мг/л, хлоридов — 150–300 мг/л. В промышленных стоках (в частности, на металлургических заводах) уровень хлоридов и сульфатов значительно выше, к тому же к ним добавляются цианиды, аммиак и роданистые соединения.

Представленные выше показатели важны для оценки загрязненности стоков, так же их следует учитывать и в процессе трактовки данных, полученных в ходе иных анализов. Концентрацию хлоридов важно знать при определении ХПК, так как хлориды окисляются бихроматом калия до молекулярного хлора. Поэтому при концентрации хлоридов более 200 мг/л требуется их предварительное осаждение или введение поправки к результату анализа ХПК. Синтетические поверхностно-активные вещества, или СПАВ, так же являются серьезными загрязнителями естественных водоемов. Воздействие СПАВ напрямую влияет на эвтрофикацию рек и озер, угнетение

процессов самоочищения гидросферы, торможение биохимических процессов в водоемах, вызывая другие губительные для биоценоза процессы.

Большинство СПАВ — органические вещества, состоящие из двух частей: гидрофобной и гидрофильной. Гидрофобная часть СПАВ соединена обычно с одной гидрофильной группой. В зависимости от физико-химических свойств гидрофильной части СПАВ делятся на три основных типа: анионоактивные, катионоактивные, неионогенные. Каждый тип в свою очередь делится на классы в зависимости от химического состава гидрофобной части.

Примерно 75–80% всех СПАВ, применяемых в быту и промышленности, составляют анионоактивные. Важнейшим из них являются: алкилсульфаты с общей формулой $R-O-SO_3Na$ (где R — углеводородный радикал с числом углеродных атомов от 10 до 20); алкилсульфонаты $R-SO_3Na$ (с числом углеродных атомов 12–15) и алкиларилсульфонаты $R-C_6H_4-SO_3Na$ (с числом углеродных атомов в радикале 5–18).

Так же присутствие СПАВ резко отрицательно сказывается на работе очистных сооружений, во время очистки сточных вод поверхностно-активные вещества замедляют процессы осаждения твердых взвешенных частиц, провоцируют появление пены в очистных сооружениях и препятствуют биологической очистке. Для предотвращения данных процессов содержание СПАВ в стоках, поступающих на стадию биологической очистки, не должно превышать 20 мг/л. Некоторые фракции (в частности, жесткие СПАВ) предварительно должны быть полностью удалены химическими и физико-химическими методами.

Поверхностно-активные вещества присутствуют во всех сточных водах, в том числе и хозяйственно-бытовых. Источниками СПАВ в сточных водах является результат широкого применения их в быту и промышленности в качестве моющих средств, а также смачивающих, эмульгирующих, выравнивающих, дезинфицирующих препаратов.

Наиболее высокая концентрация токсических веществ определяется в промышленных сточных водах и классифицируются на две категории — неорганические и органические. К органическим токсическим веществам относятся нефтепродукты, смолы, карбоциклические соединения, пестициды, красители, кетоны, фенолы, спирты и СПАВ. Неорганические компоненты представлены солями, щелочами, кислотами и различными химическими элементами (хром, алюминий, свинец, никель, фтор, бор, железо, ванадий и т. д.).

В хозяйственно-бытовых и сельскохозяйственных сточных водах основными биологическими загрязнителями являются бактерии, вирусы, патогенные простейшие

и яйца гельминтов, источником которых являются люди и животные.

Для оценки фекальной загрязненности сточных вод используются микробиологические анализы — определение общего микробного числа и количества общих колиформ (коли-тест). Основная задача данных анализов оценить степень фекального загрязнения воды, а не выявление самого факта наличия патогенных микроорганизмов. Вывод делается на основе степени загрязнения сточных вод фекалиями: чем выше уровень загрязнения, тем выше вероятность присутствия патогенных организмов в воде.

Бактериологический анализ сточных вод необходим для оценки эффективности работы очистных сооружений и дает представление о необходимых корректировках процесса очистки сточных вод. Дезинфекция проводится хлором, который оказывает негативное воздействие на качество воды.

Последним показателем является растворенный кислород. Содержание растворенного кислорода (РК) в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния. Он также необходим для самоочищения водоемов, т. к. участвует в процессах окисления органических и других примесей, разложения отмерших организмов. Снижение концентрации РК свидетельствует об изменении биологических процессов в водоеме, о загрязнении водоема биохимически интенсивно окисляющимися веществами (в первую очередь органическими). Потребление кислорода обусловлено также химическими процессами окисления содержащихся в воде примесей, а также дыханием водных организмов. Поэтому важным фактором является соблюдение качества очищенной воды, поступающей в естественные водоемы. [5, с. 49]

Оценка качественного и количественного состава загрязнителей сточных вод необходима не только для составления плана очистных мероприятий, но и для повышения их эффективности, а так же для мониторинга и последующего прогнозирования негативного антропогенного воздействия на гидросферу и экосистему в целом. Проблемы загрязненности сточных вод, методов очистки и возвращения в естественные источники или их повторное использование, давно перестали быть чем то далеким и несбыточным. За последние 150 лет качество наземных и подземных источников воды резко ухудшилось и требует не только использования современных норм и стандартов, но так же и поиск, разработку и внедрение новых идей и подходов, как к контролю поступающих загрязняющих веществ, так и к методам очистки сточных вод.

Литература:

1. Советский энциклопедический словарь/Научно-редакционный совет: А. М. Прохоров (пред.). — М.: «Советская энциклопедия», 1981. — 1287 с.
2. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов/С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. М. Ласков, В. И. Калицун. — М.:Стройиздат, 1996. — 59 с.

3. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. Под редакцией О. А. Юшманова М.: Агропромиздат 1985. — 141 с.
4. Евилович А. З. Утилизация осадков сточных вод М.: Стройиздат 1989. — 76 с.
5. Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения Под редакцией И. К. Гавич М.: Агропромиздат 1985. — 49 с.

Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду

Пичугин Евгений Александрович, старший научный сотрудник

Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем (г. Пермь)

При бурении нефтяных скважин в окружающую среду поступает большое количество загрязняющих веществ различной степени токсичности, которые оказывают значительный вред всем компонентам окружающей среды.

Источники загрязнения при бурении скважин условно можно разделить на постоянные и временные (рис. 1) [1].

Как показано на рис. 1, источники поступления загрязняющих веществ от объектов нефтедобычи в окружающую среду достаточно разнообразны.

Постоянными источниками загрязнения атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод являются шламовые амбары, которые представляют собой природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения

токсичных промышленных отходов бурения нефтяных скважин [2].

При строительстве амбаров вырубаются деревья, кустарники, уничтожается надпочвенный покров, происходит отчуждение земель. Шламовые амбары с токсичным буровым шламом выводят из оборота значительные площади земель.

Общие объемы отходов зависят от применяемой технологии бурения, глубины и продолжительности строительства скважины, систем водоснабжения и водоотведения, природно-климатических факторов и т. д. [3].

Буровые отходы представлены следующими основными разновидностями: выбуренные породы (ВБ), отработанные буровые растворы (ОБР), буровые сточные воды (БСВ) и их отстой, буровой шлам (БШ) и др. [3].

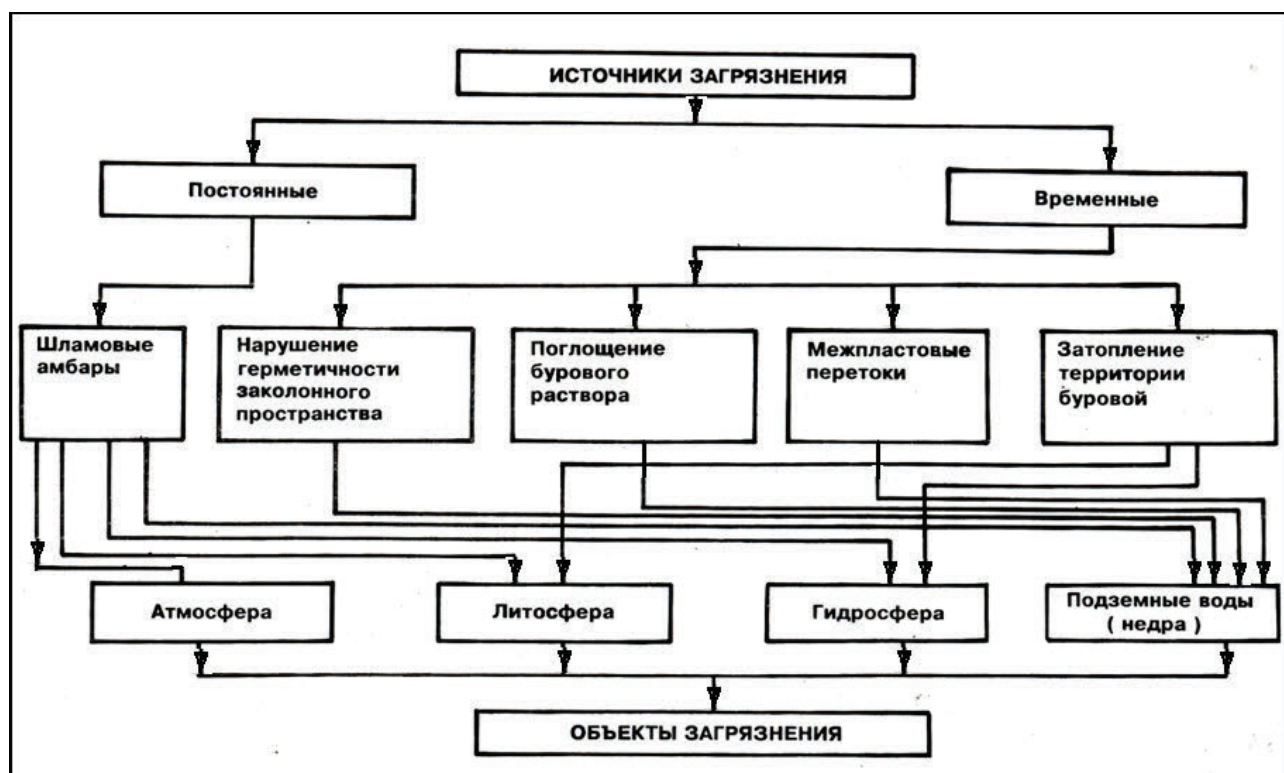


Рис. 1. Систематизация источников загрязнения при бурении скважин

Рассмотрим подробнее воздействие бурового шлама на окружающую природную среду.

Так как в составе бурового шлама присутствует порода (60–80%), органическое вещество (8–10%), водорастворимые соли (6%), нефть, разнообразные реагенты и т. п. [4], то основное воздействие на окружающую среду будет заключаться в загрязнении объектов природной среды химическими реагентами, минеральными солями и нефтепродуктами.

Воздействие бурового шлама на атмосферу происходит путем испарения легких фракций нефтепродуктов с поверхности шламового амбара, а также при таянии снега на загрязненной шламом территории.

Воздействие бурового шлама на подземные и поверхностные воды обусловлено, в основном, ненормативным обустройством шламового амбара (нарушение либо отсутствие гидроизоляции амбара, отсутствие обваловок, водоотводных канав и т. п.), а также при контакте бурового шлама, расположенного на территории буровой вне шламового амбара, с атмосферными осадками, подтоплении территории буровой в период интенсивного снеготаяния.

При нарушении гидроизоляции шламового амбара снижается продуктивность почвенного покрова, происходит загрязнение подземных водоносных горизонтов и, как следствие, загрязнение подземных и поверхностных вод.

В результате атмосферных осадков и снеготаяния происходит переход растворимых солей из бурового шлама в водные растворы с миграцией этих веществ в водоносные горизонты.

В результате загрязнения подземных и поверхностных вод нефтепродуктами происходит угнетение и подавление нормальной органической жизни, изменение состава био-

ценозов, заморы рыбы и гибель нерестилищ [4].

Воздействие бурового шлама на почву, растительный и животный мир в основном сводится к загрязнению нефтепродуктами. При загрязнении почв нефтепродуктами происходит нарушение воздушного режима и водных свойств почв. В результате воздействия на почвенный покров нефтепродуктов отмечается изменение населяющих почву живых микроорганизмов: снижается численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и бактерий, усваивающих соединения азота. Происходит угнетение окислительно-восстановительных ферментативных процессов, что в конечном счете снижает биологическую активность и плодородие почв. Буровые шламы в большинстве случаев имеют щелочную реакцию, что способствует образованию легкорастворимых гуматов, которые вымываются из поверхностного слоя почв, снижая общее содержание гумуса [5].

Растительность на участках загрязнения буровыми шламами погибает полностью. При толщине слоя шлама 5–10 см вред, причиняемый лесу, сопоставим с нефтяным загрязнением сильной степени [6].

Нами выполнен расчет экологического ущерба от ухудшения и разрушения почв и земель под воздействием антропогенных (техногенных) нагрузок по методике [7] при размещении отходов бурения в шламовом амбаре объемом 1100 м³. Показано, что суммарный экологический ущерб составляет 8236800 рублей, а ущерб от размещения 1 м³ бурового шлама — 7488 рублей.

Таким образом, размещение бурового шлама в шламовом амбаре или на территории буровой может наносить значительный ущерб окружающей среде, в связи с чем утилизация его с получением экологически безопасного для окружающей среды материала представляется важной задачей.

Литература:

1. Булатов А. И., Макаренко П. П., Шеметов В. Ю. Охрана окружающей среды в нефтегазовой промышленности. — М.: Недра, 1997. — 483 с.: ил.
2. Шламовый амбар (шламохранилище) [Электронный ресурс] URL: <http://www.geoplenka.ru/articles/oil-industry/shlamohranilisha/> (дата обращения: 14.05.2013).
3. Косаревич И. В., Шеметов В. Ю., Гончаренко А. П. Экология бурения / Под ред. Рябченко В. И.. — Мн.: Наука и техника, 1994. — 119 с.
4. Тетельмин В. В., Язев В. А. Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — Долгопрудный. Издательский дом «Интеллект», 2009. — 352 с.: ил.
5. Бурение нефтяных и газовых скважин [Электронный ресурс] URL: <http://lib.znate.ru/docs/index-5975.html> (дата обращения: 14.05.2013).
6. Захаров А. И., Гаркунов Г. А., Чижов Б. Е. Виды и масштабы воздействия нефтедобывающей промышленности на лесной фонд Ханты-Мансийского автономного округа // Леса и лесное хозяйство Западной Сибири. — 1998. № 6. — С. 149–160.
7. Временная методика определения предотвращенного ущерба (утв. Госкомэкологией РФ 09.03.1999) [Электронный ресурс]: Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

Технология утилизации буровых шламов с получением экологически чистого дорожно-строительного материала

Пичугин Евгений Александрович, старший научный сотрудник

Уральский государственный научно-исследовательский институт региональных экологических проблем» (ФГБУ УралНИИ «Экология»)

В настоящее время значительный ущерб окружающей среде наносят производственно-технологические отходы бурения (буровой шлам). Токсичные буровые отходы загрязняют недра, атмосферу, поверхностные и подземные водные объекты, почву, негативно воздействуют на растительный и животный мир.

Существует множество способов утилизации отходов бурения, большинство из которых сводится к захоронению, либо размещению буровых шламов на территории буровой или в специально отведенных местах (шламохранилище, земляные амбары и т.д.). Однако перспективным направлением утилизации буровых шламов является использование их в качестве исходного сырья для получения строительных материалов, грунтовых смесей, материалов для отсыпки внутрипромысловых дорог и буровых площадок. Вместе с тем, большое разнообразие состава и свойств буровых шламов, недостаточная изученность их характеристик, в том числе токсичности и способов ее снижения, не позволили в настоящее время этим направлениям утилизации получить широкое распространение в промышленности.

Цель работы заключалась в разработке технологии утилизации токсичных буровых шламов с получением экологически чистых дорожно-строительных материалов, пригодных для строительства внутрипромысловых дорог в условиях Западной Сибири.

Первоначально для разработки технологии были проведены анализы образцов бурового шлама с целью определения комплекса свойств, допускающих применение буровых шламов для изготовления экологически чистых дорожно-строительных материалов.

В ходе экспериментов определялись химический со-

став твердой фазы и водной вытяжки образцов буровых шламов, класс опасности для окружающей природной среды. Были выделены три главных фактора, которые влияют на токсичность буровых шламов и разработаны условия, накладываемые на буровой шлам и производимую продукцию с целью обеспечения ее экологической безопасности для окружающей среды [1, 2].

Далее были проведены эксперименты по определению физико-механических свойств буровых шламов и смесей, полученных на его основе, с целью разработки строительных условий применения производимой продукции в дорожно-строительной отрасли в условиях Западной Сибири [2].

После проведенных экспериментов была разработана система ограничений (табл. 1), накладываемая на дорожно-строительные смеси для обеспечения их экологической безопасности для окружающей среды. Эффективность разработанной системы ограничений была подтверждена экспериментально [2].

С учетом вышесказанных ограничений, разработана технология утилизации бурового шлама, которая включает следующие стадии:

1. Приемка исходного сырья.
2. Подготовка и доведения сырья до требуемых параметров (нейтрализация, отстаивание при необходимости).
3. Дозирование исходного сырья.
4. Смешение исходного сырья в требуемых соотношениях.
5. Сушка шламо-песчаной смеси.
6. Дожигание и очистка отходящих газов.
7. Складирование и хранение готовой продукции.

Технологическая схема установки приведена на рис. 1. Производительность установки по производимой про-

Таблица 1. Требования к производимой продукции

| № п/п | Параметр | Ед. изм. | Ограничение |
|-------|--|--------------------|----------------------------|
| 1 | Доля глинистых частиц | масс. % | <15 |
| 2 | Влажность | д.е. | |
| | — для супеси легкой | | <0,15 |
| | — для суглинка легкого | | <0,12 |
| | — для суглинка тяжелого | | <0,11 |
| 3 | Содержание сухого остатка в водной вытяжке | г/кг | <25 |
| 4 | Содержание нефтепродуктов | г/кг | <5 |
| 5 | рН водной вытяжки | | <9 |
| 6 | Содержание карбонат-ионов | мг/дм ³ | <660 |
| 7 | Коэффициент морозного пучения | % | <5 |
| 8 | Тип грунта | | Суглинок или супесь легкая |

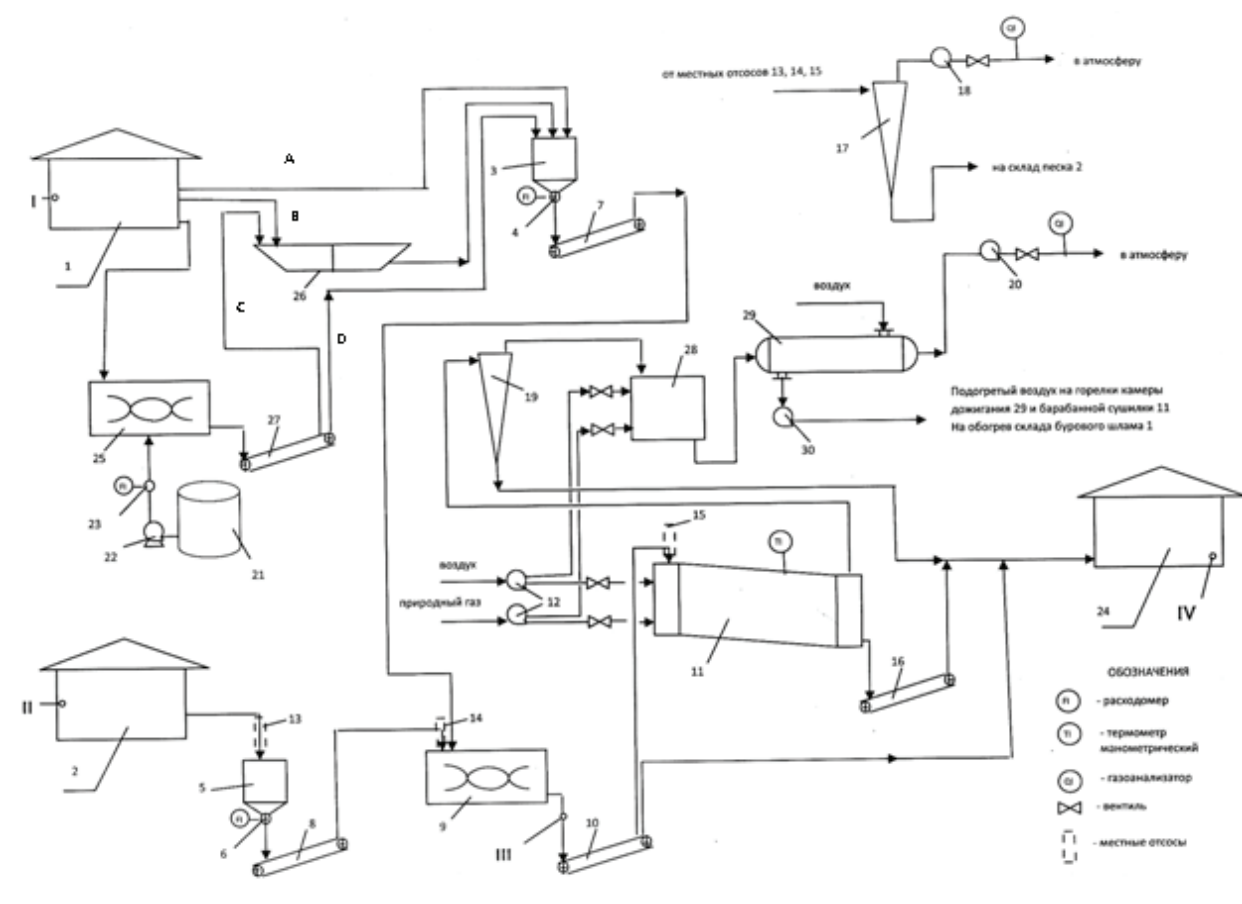


Рис. 1. Технологическая схема установки производства шламо-песчаной смеси:

1 — склад бурового шлама; 2 — склад песка; 3, 5, — бункеры; 4, 6, — шнековые дозаторы; 7, 8, 10, 16, 27 — шнековые транспортеры; 9 — смеситель лопастной непрерывного действия; 11 — барабанная сушилка; 12, 18, 20 — вентиляторы; 13, 14, 15 — местные отсосы; 17, 19 — циклоны; 21 — емкость с соляной кислотой; 22 — насос; 23 — дозатор кислоты; 24 — склад готовой продукции; 25 — смеситель лопастной периодического действия; 26 — технологический двухсекционный отстойник, 28 — камера дожигания отходящих газов из барабанной сушилки, 29 — кожухотрубчатый теплообменник, 30 — компрессор. I, II, III, IV, — точки отбора проб

дукции составляет 40000 т/год. Работа установки предполагается 340 дней в году.

Буровой шлам и песок доставляются на рабочую площадку с помощью автотранспорта (самосвалов). Для равномерного складирования бурового шлама, песка и готовой продукции предназначены бульдозеры.

Перед использованием буровой шлам для соблюдения требований описанных выше анализируют на следующие основные параметры: химический состав водной вытяжки бурового шлама (рН, карбонаты, сухой остаток); физико-механические характеристики (природная влажность, плотность); гранулометрический анализ (содержание глинистых частиц в буровом шламе). Проведение анализа бурового шлама также необходимо для определения требуемого количества песка для смешения с буровым шламом.

Песок анализируют на основные параметры, определенные в документах [3, 4] (модуль крупности, содержание глинистых частиц и т. п.).

При этом, если по каким-либо условиям буровой шлам не удовлетворяет требованиям, в технологии предусмотрены 4 потока для доведения всех требуемых параметров до оптимального уровня:

- Поток А — если содержание нефтепродуктов < 5 г/кг, сухого остатка < 25 г/кг, карбонат-ионов < 660 мг/дм³;
- Поток В — если содержание нефтепродуктов > 5 г/кг или сухого остатка > 25 г/кг, карбонат-ионов < 660 мг/дм³;
- Поток С — если содержание нефтепродуктов > 5 г/кг или сухого остатка > 25 г/кг, карбонат-ионов > 660 мг/дм³;
- Поток D — если содержание нефтепродуктов < 5 г/кг, сухого остатка < 25 г/кг, карбонат-ионов > 660 мг/дм³.

Для доведения продукции до требуемой оптимальной влажности предусмотрена барабанная сушилка, в которой происходит сушка шламо-песчаной смеси при температуре 400°С. В качестве топлива для сушки шламо-песчаной смеси может быть использован попутный газ,

образующийся на нефтегазодобывающих месторождениях.

Для исключения неполного окисления воздухом углеводородов, которые могут выделяться из бурового шлама, предусмотрена камера дожигания отходящих газов из барабанной сушилки при температуре 800 °С.

Для рационального использования тепла отходящих газов предусмотрен кожухотрубчатый теплообменник. Подогретый воздух из межтрубного пространства кожухотрубчатого теплообменника может использоваться для обогрева склада бурового шлама в зимний период, либо может быть направлен на горелки камеры дожигания и барабанной сушилки.

Для исключения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу предусмотрены местные отсосы и циклоны.

В целом в период эксплуатации установки воздействие на атмосферу, подземные и поверхностные воды, геологическую среду, почву, растительный и животный мир будет допустимым при условии соблюдения технологических параметров и природоохранных мероприятий.

Экономическая эффективность разработанной технологии подтверждена технико-экономическими расчетами. Срок окупаемости производства составит 5 лет. Годовой экономический потенциал установки — 60,413 тыс. рублей.

Литература:

1. Зильберман М. В., Пичугин Е. А., Шенфельд Б. Е., Черепанов М. В., Ходяшев Н. Б. Оценка влияния состава буровых шламов на класс опасности для окружающей природной среды // Научно-технический вестник Поволжья. — 2012. — № 2. — С. 194–202.
2. Зильберман М. В., Пичугин Е. А., Шенфельд Б. Е., Козлова Г. А., Долганов В. Л. Требования, предъявляемые к шламо-песчаным смесям на основе буровых шламов для их применения в качестве экологически чистого строительного дорожного материала // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2013. — № 6. — С. 29–34.
3. ГОСТ 8736–93. Песок для строительных работ [Электронный ресурс]. М.: Издательство стандартов, 1995 — Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».
4. ГОСТ 3344–83. Щебень и песок шлаковые для дорожного строительства [Электронный ресурс]. М: Стандартинформ, 2007 — Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

Эффективность скармливания сапропелевой кормовой добавки в составе комбикорма на продуктивные качества свиноматок и на продуктивность и качество мяса молодняка свиней выращенного от них

Рыжков Валерий Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;

Рыжков Евгений Валерьевич, аспирант

Дальневосточный государственный аграрный университет (г. Благовещенск)

В статье рассмотрена положительная эффективность включения сапропеля в составе экспериментальных комбикормов для свиноматок на их среднесуточные привесы, переваримость питательных веществ кормов и гематологические показатели в период доращивания и откорма.

Ключевые слова: сапропель, свиноматки, воспроизводительные функции, откормочный молодняк, среднесуточные приросты, прирост живой массы, убойный выход.

Эффективность промышленного свиноводства во многом определяется продуктивными качествами свиноматок и молодняка свиней на откорме. Одной из основных причин снижения продуктивности свиней является недостаточность комплекса минеральных и биологически активных веществ (БАВ) в рационах животных. На современном этапе в практике животноводства с целью усиления физиологических процессов в организме, улучшения обмена веществ, повышения неспецифической естественной резистентности организма используют целый ряд БАВ, особенно естественного происхождения, к числу которых относятся кормовые добавки из сапропеля [1].

Сапропель содержит биологически активные вещества и является источником хелатообразующих соединений гуминовых кислот с макро- и микроэлементами, а также аминокислотами. При этом хелатные соединения оказывают более высокую биологическую активность на метаболические процессы, на репродуктивные и продуктивные качества животных, чем в форме неорганических солей и каждого из них в отдельности [2].

Перспективность применения сапропелевой кормовой добавки в животноводстве обусловлена также экономической целесообразностью, связанной со снижением затрат корма на единицу продукции, своей дешевизной и доступностью.

Для подтверждения выше сказанного мы поставили перед собой цель изучить влияние скармливания сапропелевой кормовой добавки на продуктивные качества свиноматок и на продуктивность и качество мяса молодняка

свиней выращенного от них. Для решения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить влияние сапропелевой кормовой добавки на молочность и воспроизводительные свойства свиноматок.
- изучить влияние сапропелевой кормовой добавки на продуктивность, затраты корма и морфологический состав туш молодняка свиней,

Гипотеза наших исследователей заключается в том, что сапропелевая кормовая добавка (СКД) является композицией биологически активных веществ природного происхождения. СКД, естественным, природным способом, позволит регулировать процессы пищеварения и продуктивности, сформировать микробный биоценоз, что позволит регулировать интенсивность процессов и направленность метаболических процессов в желудочно-кишечном тракте в нужном нам направлении для повышения продуктивности и получения свинины.

Научно-хозяйственные опыты проводили в течение всего периода выращивания (246 дней) на базе свинокомплекса ООО «АгроСЕВ» Константиновского района Амурской области. Для опыта по принципу аналогов были отобраны свиноматки крупной белой породы (табл. 1).

В соответствии со схемой опыта первый опыт проводили на свиноматках в количестве десяти голов в каждой группе. Свиноматкам опытной группы в течение опытного периода в рацион вводили СКД в количестве 6% от массы комбикорма марки СПК — 1 и СПК — 2. В течение опыта определяли молочность свиноматок и их воспроизводительные функции.

Таблица 1. Схема опыта

| Группа | n | Условия кормления |
|---------------------|----|--|
| Свиноматки | | |
| Контрольная | 10 | Основной рацион (ОР) |
| Опытная | 10 | ОР+СПК с 6% сапропелевой кормовой добавкой |
| Молодняк на откорме | | |
| Контрольная | 10 | ОР |
| Опытная | 10 | ОР+СПК с 4% сапропелевой кормовой добавкой |

Таблица 2. Влияние сапропелевой кормовой добавки на продуктивность свиноматок

| Показатель | Группа | | В% к контрольной группе |
|--|-------------|------------|-------------------------|
| | контрольная | опытная | |
| Опоросилось маток, голов | 10 | 10 | |
| Количество поросят при рождении, голов | 9,5±0,26 | 10,5±0,21 | 111,0 |
| В 21 день лактации, количество поросят, гол. | 7,8±0,25 | 10,1±22* | 129,5 |
| Масса гнезда, кг | 27,3±0,74 | 39,3±1,30 | 141,4 |
| Сохранность поросят, % | 82,1±1,55 | 96,2±1,54 | 109,0 |
| Среднесуточный прирост поросят, г | 170±5,47 | 185±4,33** | 109,0 |

*P<0,05; P<0,01**

Таблица 3. Основные показатели продуктивности откорма свиней

| Показатели | Группы | |
|---|-------------|--------------|
| | контрольная | опытная |
| Средняя живая масса одной головы, кг: | | |
| — в начале опыта | 33,54±0,40 | 34,00±0,40 |
| — в конце опыта | 103,00±0,58 | 115,60±0,55* |
| Затраты кормов на единицу прироста, к.ед. | 4,82 | 4,05 |
| Среднесуточный прирост живой массы, г | 498,1±4,82 | 574,6±5,47 |
| Убойный выход, % | 63,5±0,02 | 66,6±0,15* |
| Состав туши, %; | | |
| — мясо | 52,5±0,48 | 56,1±0,82* |
| — сало | 35,7±1,10 | 33,5±0,32 |
| — кости | 11,8±0,72 | 10,4±0,64 |

*P<0,05

Второй научно хозяйственный опыт проводили на отобранном приплоде от свиноматок, которые получали СКД в количестве 4% от массы комбикорма марки СПК — 5 и СПК — 6. В процессе опыта изучали изменение живой массы молодняка, затраты корма на их выращивание и морфологический состав туш.

Кормление свиноматок и молодняка было двухкратное в соответствии с расписанием дня хозяйства. Ежедневно учитывали расход кормов с целью определения затрат корма на единицу прироста живой массы. Контроль за полноценностью кормления и питательностью кормов осуществляли исходя из данных химического анализа

кормов, проведенного в химической лаборатории кафедры кормления, разведения, зоогигиены и производства продуктов животноводства сельскохозяйственных животных ФВМЗ ДальГАУ.

В результате проведенного эксперимента было установлено, что скармливание сапропелевой кормовой добавки повышало репродуктивные функции свиноматок: по количеству рожденных поросят в опытной группе по сравнению с контрольной на 6,7%, по многоплодию на 10,8%, повысили массу гнезда на 41,4%, сохранность поросят на 14,1%, среднесуточный прирост на 9%.

Для изучения влияния сапропелевой кормовой до-

бавки на прирост живой массы, и откормочные качества у потомства был праведен отбор поросят из приплода маток (табл. 3).

Установлено, что свиньи, получавшие сапропелевую кормовую добавку, превосходили аналогов из контрольной группы по абсолютному приросту на 12,6 кг, по среднесуточному приросту — на 80,9 г, по убойному выходу — на 3,1%.

Кроме этого в составе туши у животных из опытной группы было больше мяса на 3,6%, сала — на 2,2% и при недостоверной разнице снизилось содержание костной ткани — на 1,4%.

При производственной проверке на откормочном молодняке свиней установлена экономическая эффективность по мясной продуктивности, которая составила в среднем 3,9 рубля на голову в сутки.

Литература:

1. Алексейко И.С., Широков В.А., Яременко А.А. Сапропели Приамурья, свойства, добыча, использования. Благовещенск 2003 г. — С. 135.
2. Пестис В.К. Сапропели в кормлении сельскохозяйственных животных: Монография. Гродно: Гродненский государственный аграрный университет, 2003.

Молодой ученый

Ежемесячный научный журнал

№ 9 (56) / 2013

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор:

Ахметова Г. Д.

Члены редакционной коллегии:

Ахметова М.Н.

Иванова Ю.В.

Лактионов К.С.

Комогорцев М.Г.

Ахметова В.В.

Брезгин В.С.

Котляров А.В.

Яхина А.С.

Насимов М.О.

Ответственный редактор:

Кайнова Г.А.

Художник:

Шишков Е. А.

Верстка:

Бурьянов П.Я.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются.

За достоверность сведений, изложенных в статьях,
ответственность несут авторы.

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна.

Материалы публикуются в авторской редакции.

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

672000, г. Чита, ул. Бутина, 37, а/я 417.

E-mail: info@moluch.ru

<http://www.moluch.ru/>

Учредитель и издатель:

ООО «Издательство Молодой ученый»

ISSN 2072-0297

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»
127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6