



#3 (43), 2019 część 4

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

(Warszawa, Polska)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w

Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze

wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo

publikowane jest w języku polskim, angielskim,

niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego
miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz
czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej

czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet
Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet
Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet
Jagielloński)

Kolub Frennen (University of
Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

#3 (43), 2019 part 4

East European Scientific Journal

(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland. The
journal is registered and published in Poland.

Articles in all spheres of sciences are published in the

journal. Journal is published in **English, German, Polish**

and Russian.

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the
journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet
Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet
Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet
Jagielloński)

Kolub Frennen (University of
Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków
Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet
Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
**Peter Clarkwood(University College
London)**
Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)
**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**
**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**
Kehan Schreiner(Hebrew University)
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**
**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**
**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-
land

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Арефьева Е.В. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОФИЛЬТРАЦИИ	4
Байгазы Н. ОПРЕСНЕНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	8
Біляев М.М., Козачина В.А., Оладіно М.О. ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВУГІЛЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ	10
Гурнюк А., Ядченко Д., Кунио Н. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ	15
Довгополов А.Ю., Некрасов С.С. РОЗРОБКА ТЕОРІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ГВИНТОВОЇ ПОВЕРХНІ З КРУГЛИМ ПРОФІЛЕМ В ДЕТАЛЯХ ВИГОТОВЛЕНИХ З АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	22
Карачун В.В., Мельник В.Н., Бойко Г.В. АНАЛИЗ ГИПЕРЗВУКОВЫХ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ	28
Кенсицький О.Г., Власенко Т.С., Хвалін Д.І. АНАЛІЗ НАГРІВУ ПОТУЖНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ ПРИ ПОРУШЕННІ ОХОЛОДЖЕННЯ.....	43
Курбонализода С.Ш., Гулахмадов А.А., Кобулиев З.В. ТЕСТИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОТУРБИНЫ ПЛЗ0	48
Маклакова С.Н., Галкина М.А., Молодкина О.А., Евсеева Т.М. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЖЕСТКОСТЬ	53
Дзюба Н.А., Землякова О.В., Олийник М.И. ГИДРОЛИЗАТ КОЛЛАГЕНА КАК КОМПОНЕНТ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ЗДОРОВЬЯ	61
Стреляная Ю.О. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ РЕАЛИЗАЦИЮ ПРЕДЕЛЬНЫХ ГРАНИЧНЫХ ЦИКЛОВ	66
Третьяк А., Кобзарь К., Гакал П., Черная Н., Трибушной Н., Нурметов Р. ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ	71

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Арефьева Елена Валентиновна

*Докт. техн. наук, главн. науч. сотр., доцент,
ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) МЧС России
г. Москва*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОРРЕКТНЫХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ГЕОФИЛЬТРАЦИИ

Аннотация. Для решения обратных задач определения неизвестных геофильтрационных характеристик, а также для выработки параметров регулирования опасного уровня грунтовых вод, потенциально приводящего к возникновению чрезвычайных ситуаций, применен метод регуляризации решения обратных некорректных задач математической физики.

Annotation. To solve inverse problems of determining unknown geofiltration characteristics, as well as to develop parameters for controlling dangerous groundwater levels, potentially leading to emergency situations, the method of regularization of the solution of inverse ill-posed problems of mathematical physics was applied.

Ключевые слова: метод регуляризации, обратные задачи геофильтрации, управление риском ЧС при подтоплении.

Key words: regularization method, inverse geofiltration problems, emergency risk management during flooding.

Введение. Подтопление застроенных территорий имеет серьезную опасность, т.к. относится к процессам, протекающим постепенно, но которые могут проявляться внезапно в виде карстовых провалов, деформаций и обрушений зданий и сооружений, активизации оползневых процессов и др. Для выполнения качественных прогнозных решений и оценки эффективности применяемых мер и мероприятий требуется знание о распределенных параметрах водоносного горизонта. Специфика принятия мер по снижению опасного уровня грунтовых вод при подтоплении городских территорий, заключается в том, что его понижение должно носить управляемый, контролируемый характер. Инженерными решениями в этом случае являются различные дренажные системы горизонтального и вертикального типа, откачки, стены в грунте, которые могут быть смоделированы в виде граничных условий, функции источника (с обратным знаком) на модели геофильтрации, заданной, например, известным уравнением Буссинеска. Задачи определения параметров управления режимом грунтовых вод относятся к обратным задачам, которые являются некорректными [1,2]. Основные причины, порождающие некорректность обратных задач геофильтрации, сводятся к существенному дефициту информации и значительным ошибкам исходных данных, а также, приближенно описывающим процесс фильтрации, математическим моделям. Как известно, некорректные задачи имеют неустойчивые решения, допускают множество решений и могут вообще их не иметь. Под устойчивостью решения понимается непрерывная зависимость решения от исходных данных. Для решения некорректных

задач применяются различные методы регуляризации [2]. С помощью регуляризации некорректные задачи становятся условно-корректными, что позволяет получать единственное устойчивое решение.

В случае решения обратных задач геофильтрации необходимо использовать имеющуюся гидрогеологическую, инженерную информацию, которая позволит сужать область возможных решений обратной некорректной задачи. Таким образом, цель исследования - получить приближенные решения обратных задач, близкие по сходимости по выбранной и обоснованной норме к точному решению с учетом всей имеющейся информации о решении.

Методика исследования. Суть метода регуляризации (МР) заключается в следующем. Исходная задача формулируется в вариационном виде [2], затем к минимизирующему функционалу добавляется стабилизатор с малым параметром, повышающим устойчивость решения. При стремлении ошибки исходных данных и параметра регуляризации к нулю, регуляризованная задача имеет решение, сходящееся к «истинному» решению.

Будем рассматривать уравнение стационарной плоско-плановой фильтрации в рамках гидравлической теории (вертикальной составляющей скорости фильтрации пренебрегают) - уравнение Буссинеска. К параметрам регулирования уровня грунтовых вод относятся откачки, вертикальные дренажи, формализованные в виде либо функция источника (правая часть уравнения), либо граничные условия 1-го либо 2-го рода. Рассмотрим уравнение с граничными условиями 2-го рода:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} (T(x, y) \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T(x, y) \frac{\partial H}{\partial y}) = -W(x, y), \\ & (x, y) \in G \\ & G - \text{область фильтрации} \\ & H(x, y)|_{\Gamma} = f(s), s \in \Gamma, \\ & \Gamma \cup - I. \text{рода} \\ & T \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma} = q(s), s \in \Gamma \\ & \Gamma \cup - II. \text{рода} \\ & T \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma} = \chi H(s) + q(s), s \in \Gamma \end{aligned} \quad (1)$$

где $T(x, y)$ - коэффициент водопроницаемости, $W(x, y)$ - инфильтрация, $H(x, y)$ - уровень грунтовых вод, Γ - граница области фильтрации, G - область фильтрации, $q(s)$ - расход воды на границе области, $W(x, y)$ - инфильтрация.

Предполагается, что $W(x, y)$, $H(x, y)$, $q(s)$ - известны.

Рассматриваемая задача с граничными условиями второго рода имеет единственное решение, если напорная функция $H(x, y)$, инфильтрация $W(x, y)$, известны в каждой точке области, а функция водопроницаемости - $T(x, y)$ задана вдоль какого-либо контура, пересекающего все «линии тока» области. Поскольку эти требования не выполняются на практике, то о единственности решения говорить не имеет смысла. А с учетом неточности и дефицита исходной информации речь может идти только об приближенном решении конкретной за-

дачи. Опишем идею метода регуляризации в операторных терминах применительно к задаче управления режимом грунтовых вод.

Большинство прикладных задач математической физики можно представить в операторном виде [2]:

$$Az = F \quad (2)$$

где A - некоторый оператор (дифференцирования, интегрирования и т.д.), действует из пространства $H_1 \rightarrow H_2$ (где H_1 - пространство функций, интегрируемых в области G , удовлетворяющих на границе граничному условию второго рода, H_2 - пространство непрерывных функций), $z \in H_1$, $F \in H_2$, z -искомое решение, F - правая часть уравнения.

Выпишем уравнение (1) для решения обратной задачи, например для определения коэффициента водопроницаемости в уравнении (1):

$$\begin{aligned} & \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial T}{\partial y} \frac{\partial H}{\partial y} + T(x, y) \Delta H = +W(x, y) \\ & T(x, y) \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma} = f(x, y) \\ & W(x, y) = -\bar{W}(x, y) \end{aligned} \quad (3)$$

Требуется определить коэффициент водопроницаемости $T(x, y)$ по известным значениям уровня грунтовых вод (УГВ) - $H(x, y)$ и инфильтрации $W(x, y)$, заданным граничным условиям второго рода в операторном виде.

Введем обозначения:

$$\begin{aligned} a_1(x, y) &= \frac{\partial H}{\partial x}, a_2(x, y) = \frac{\partial H}{\partial y}, \\ a_3(x, y) &= \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \end{aligned}$$

$$z = T(x, y) \quad (4)$$

Тогда исходное уравнение (1) перепишем в виде:

$$a_1(x, y) \frac{\partial Z}{\partial x} + a_2(x, y) \frac{\partial Z}{\partial y} + a_3(x, y) Z(x, y) = -W(x, y) \quad (5)$$

Введем дифференциальный оператор для уравнения (1), действующий из пространства H_1 в H_2

$$A = \left(a_1 \frac{\partial}{\partial x} + a_2 \frac{\partial}{\partial y} + a_3 \right) \quad (6)$$

где H_1 - пространство функций, интегрируемых в области G , удовлетворяющих на границе граничному условию второго рода, H_2 - пространство непрерывных функций.

В результате получим операторную запись задачи:

$$\begin{aligned} AZ &= F, \\ F &= -W(x, y) \end{aligned} \quad (7)$$

Уравнение (7) имело бы единственное решение, если бы существовал обратный оператор A^{-1} и удалось бы найти такое взаимоднозначное преобразование A^{-1} , чтобы искомым вектор Z можно было бы определить как решение операторного уравнения:

$$Z = A^{-1} F \quad (8)$$

Однако обратный оператор существует для весьма узкого класса задач, которые не охватывают сложные случаи практики. Отсутствие обратного оператора влечет за собой отсутствие однозначного решения или вообще отсутствия решения задачи. Если же обратный оператор существует, но не является ограниченным, то полученное решение не является устойчивым.

Возникает вопрос – как переформулировать задачу (7), чтобы решение было устойчивым, единственным и физически осмысленным. Перепишем задачу (7) в вариационном виде [2]:

$$\|AZ - F\| \rightarrow \min \quad (9)$$

где $\|\ast\|$ - некоторая норма в заданном пространстве функций. Например,

$$\|AZ - F\| = \iint_G |AZ - F|^2 dx dy \quad (10)$$

Задача минимизации допускает также регуляризацию с использованием экспериментальных данных. Такая регуляризация применяется с целью сузить класс возможных решений. Например, из-

вестно, что коэффициент водопроводимости описывается непрерывной, неотрицательной функцией. Тогда вид задачи (9) несколько изменим [2]:

$$\Phi(Z) = \|AZ - F\| + \lambda \Omega[Z - Z^{\text{эк}}] \rightarrow \min \quad (11)$$

где Z - искомое решение обратной задачи; $Z^{\text{эк}}$ - экспериментальные значения коэффициента водопроводимости; $\Omega[Z - Z^{\text{эк}}]$ - стабилизатор (регуляризатор) Тихонова, позволяющий сузить класс возможных решений; λ - малый параметр, обеспечивающий умеренное влияние стабилизатора.

Параметр λ подбирается с учетом погрешности задания исходных данных. Обычно выбор λ сравним с невязкой $\|AZ - F\|$. Согласно теории решения некорректных задач [2], если выполнены соответствующие ограничения для стабилизатора $\Omega[Z - Z^{\text{эк}}]$ и Z_0 минимизирует функционал (11), тогда Z_0 является устойчивым решением задачи (8), близким по норме (10) к решению задачи относительно экспериментальных данных в отдельных точках $(x_k, y_k), (Z^{\text{эк}})$.

Выбор стабилизатора определяется спецификой исходных данных задачи. Если потребовать близость решения задачи (10) к экспериментальным значениям ($Z^{\text{эк}}$), то стабилизатор будет иметь вид:

$$\Omega[Z - Z^{\text{эк}}] = \sum_{k=1}^N (Z(x_k, y_k) - Z^{\text{эк}})^2 \delta_k,$$

где точка области фильтрации обозначена как (x_k, y_k) , δ_k - погрешность измерений в k -й скважине, N - количество скважин, в которых измеряется $Z^{\text{эк}}$

Таким образом, в регуляризированной постановке задачи устанавливается зависимость между погрешностью экспериментальной информации и решением, а также одновременно рассматриваются теоретические представления о геофильтрации и об экспериментальных данных, полученных на основе опытно-фильтрационных работ (ОФР) и наблюдений.

Задача (11) является устойчивой и при правильно подобранном параметре регуляризации λ решение задачи (11) будет мало отличаться от решения задачи (8) и при этом полностью соответствовать экспериментальным данным.

Рассмотрим задачу минимизации (11). Чтобы функционал $\Phi(Z)$ имел в некоторой точке Z_0 локальный минимум, необходимо выполнение условия равенства нулю первого дифференциала:

$$\Phi'(Z_0) = 0$$

Опуская процедуру определения первого дифференциала функционала $\Phi'(Z_0)$, запишем окончательно условие минимума $\Phi(Z)$:

$$(A^* A + \lambda E)Z = A^* F - \lambda EZ^{\text{эк}} \quad (12)$$

где A^* - оператор, сопряженный к оператору A ; E - единичный оператор;

$Z^{\text{эк}}$ - экспериментальные данные о решении Z .

Оператор $(A^* A + \lambda E)$ является положительно определенным и ограниченным и, согласно [2], всегда имеет обратный оператор.

Поэтому задача (11) уже является корректной и имеет устойчивое решение:

$$Z = (A^* A + \lambda E)^{-1} (A^* F - \lambda EZ^{\text{эк}}) \quad (13)$$

Регуляризация позволяет получить единственное устойчивое решение путем введения некоторой добавки с малым параметром.

Метод регуляризации (МР) использовался автором при решении обратных геофильтрационных задач, что позволило определить параметры грунта (степень насыщения влагой), дополнительную инфильтрацию (утечки из коммуникаций) и т.д. [4].

Выводы: Задачи определения параметров водоносного горизонта для решения обратных геофильтрационных задач (коэффициенты водопроницаемости, граничные условия или определение объема откачиваемой воды) относятся к обратным некорректным задачам, решение которых предполагает тщательное исследование устойчивости, сходимости решения, а также обоснования разностных схем. Метод регуляризации имеет ряд параметров, варьируя которые можно добиваться более достоверных решений обратных задач:

- выбор стабилизатора в соответствии с видом исходной информации;
- выбор параметров регуляризации, зависящего от погрешностей исходных экспериментальных данных, соизмеримого с невязкой дифференциального оператора;
- выбор критерия для решения прямой задачи и определения степени достижения цели регулирования.

Метод регуляризации решения обратных некорректных задач для определения параметров регулирования позволяет:

- одновременно учитывать как теоретические представления о процессе геофильтрации, так и

опираться на всю экспериментальную информацию, получаемую на основе ОФР и наблюдений;

- получать физически осмысленные значения гидрогеологических (ГГ) параметров, которые отвечают требованиям оптимальных параметров регулирования с целью снижения уровня грунтовых вод до заданного [3].

Автором были использованы идеи метода регуляризации и разработаны алгоритмы решения задачи управления режимом подземной гидросферы для предупреждения ЧС с помощью решения экстремальных задач [3,4,5]. Данный подход также использовался при создании ситуационной оптимизационной геофильтрационной модели застроенной территории [6].

В настоящее время опыт решения задач нахождения оптимальных управленческих решений (определения оптимальных граничных условий или функции источника с обратным знаком) по снижению опасного уровня грунтовых вод с помощью метода регуляризации небольшой, тем не менее данный подход может найти применение для решения некорректных задач в области снижения опасных факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных опасными гидрологическими и гидрогеологическими процессами.

Список использованных источников.

1. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. - М.: Наука, 1972. - 736 с.
2. Тихонов А.Н., Гончарский А.В. и др. Численные методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1990. - 232 с.
3. Арефьева Е.В., Дзекцер Е.С. Система оптимального управления подземными водами в условиях застроенной территории // Водные ресурсы. - 1994. - Т. 21. - № 3. - С. 290-297.
4. Арефьева Е.В. Некоторые вопросы постановки и решения обратных задач геофильтрации. // Современные методы получения и обработки информации при инженерных изысканиях для строительства. - М.: ПНИИИС, 1990. - С. 78-88.
5. Арефьева Е.В. Регулирование режима грунтовых вод при подтоплении объектов и застроенных территорий. // Промышленное и гражданское строительство. - 2007г. - № 11. - С. 47-48.
6. Арефьева Е.В., Рыбаков А.В., Зиганшин А.И. Ситуационно-оптимизационная модель определения опасностей для застроенных территорий. // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, научный журнал, - 2012 № 1, С. 31-37.

ОПРЕСНЕНИЕ КОЛЛЕКТОРНО-ДРЕНАЖНЫХ ВОД КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Аннотация: В статье рассмотрено формирование коллекторно-дренажных вод на территории Кыргызской Республики. Излагается применение водосберегающей технологии в агропромышленности путем обессоливания воды на электродиализном аппарате и вторичное ее использование на орошение.

Annotation: The article discusses the formation of collector-drainage water in the territory of the Kyrgyz Republic. The application of water-saving technology in the agro-industry by desalting water on an electrodiolysis apparatus and its secondary use for irrigation is described.

Ключевые слова: *запасов пресной воды, опреснения, высокоминерализованные воды, коллекторно-дренажные воды, водоопреснители, ирригация, мелиорация земель, водное хозяйство, природные и сточные воды.*

Keywords: *resh water reserves, desalination, highly mineralized waters, collector-drainage waters, water desalinators, irrigation, land reclamation, water management, natural and waste waters.*

Деминерализация природных и сточных вод является одной из важнейших технических и экологических проблем всех стран мира. Это связано со значительным ростом промышленного водопотребления в экономических развитых районах, приводящим к исчерпанию запасов пресной воды и вызывающим необходимость восполнения их за счет опреснения высокоминерализованных морских и подземных вод, а также с освоением новых территорий, кроме того, в результате сброса в естественные водоемы промышленных, бытовых, дренажных стоков и при орошении, особенно при промывных поливах, засоленных земель, наряду, с токсичными солями, происходит вымывание из почвы необходимых для растений питательных веществ (N, P, K, гумус и т.д.) Внесение почвенных доз удобрений для улучшения их питательного режима зачистую приводит к еще более сильному вымыванию элементов удобрений. Продукты вымывания попадают в грунтовые, дренажные воды, а затем в реки, озера, пруды вызывая нежелательные загрязнения окружающей среды.

Процесс опреснения воды может осуществляться методами дистилляции, электродиализа, обратного осмоса, ионного обмена, экстракции, растворителями, замораживанием, газогидратного разделения, а также биологическим методом, основанным на способности некоторых водорослей поглощать соли на свету и отдавать их в темноте.

Из перечисленных методов опреснения наиболее перспективными; а также разработанными в научном практическом плане является электродиализ и обратный осмос. Выпускаемые в России, Казакстане, Узбекистане и зарубежом, опреснительные установки применяются в коммунальном, промышленном и сельскохозяйственном водоснабжении.

Универсального метода опреснения, обеспечивающего максимальную экономическую эффективность на практике в любых условиях не существует, поскольку опреснительные установки различаются по мощности и целевому назначению, а опресненная вода характеризуется большим разнообразием состава.

В каждом конкретном случае выбор метода опреснения обуславливается качеством исходной воды, требованиями к качеству очищенной воды,

производительностью установок, экологичностью процесса и его технико-экономическими параметрами.

Метод электродиализа играет значительную роль в водоопреснительной индустрии. На его долю приходится около 10% общего количества производимой в мире пресной воды. Малая энерго-материалоемкость электродиализного оборудования, возможность автоматизации процесса, высокая экологичность при высоком выходе пресной воды (до 99%), способствуют дальнейшему развитию метода. Основной конструктивной частью электродиализного аппарата является ионитовые мембраны, в связи с чем разрабатывается новые типы, направленные на улучшение их качества расширение ассортимента. По фазному составу различают мембраны гетерогенные и гомогенные.

Для удовлетворения нужд орошения, дренажа и развития мелиоративной науки, позволяющей обеспечить орошаемые земли водой и удобрениями с применением соответствующих мелиоративных мероприятий на конкретных территориях, может резко повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

В Кыргызстане повсеместно осуществляется мелиорация земель. В связи с этим возникла необходимость изучить процесс вымывания основных питательных веществ из почв в грунтовые, дренажно-коллекторные и оросительные воды под действием поливов, внесенных удобрений и других агротехнических приемов. Особое внимание обращено за засоления почвы, которые теряют почти все питательные вещества в результате промывок. Так, в Московском районе в совхозе «Беш-Терек» в промытых от солей почвах, в слое 0-60 см содержится 0,3-0,5 мг подвижного азота 0,10-0,40 мг усвояемого фосфора в 100 г почвы, что более чем в 10 раз меньше, чем принято для почв, слабо обеспеченных питательными веществами, которые содержат 4,5 мг подвижного азота и 6,1 мг усвояемого фосфора в 100 г. почвы.

В результате даже при достаточном увлажнении на этих почвах получают урожаи сельскохозяйственных культур в 2-3 раза ниже проектных. Кроме того, дренажные оросительные воды в этой зоне содержат значительные количества элементов

удобрений, нередко превышает ПДК (предельно допустимые концентрации).

Учитывая, что одной из важнейших народно-хозяйственных задач в нашей стране является увеличение выпуска сельскохозяйственных продукции, а орошаемое земледелие в решении этой задачи занимает особое место, то учет влияющих факторов позволит не допустить выход земель из строя и повысить урожайность сельскохозяйственных культур на мелиоративно-неблагополученных землях.

Современный уровень техники орошения и дренажа и развития мелиоративной науки, позволяет обеспечить устойчиво благоприятное состояние орошаемых земель и с применением соответствующих мелиоративных мероприятий на конкретных территориях резко повысить урожайность сельскохозяйственных культур.

В ранее выполненной работе нами разработаны рекомендации по выбору оптимальных вариантов горизонтального дренажа и способов рассоления земель, необходимых при проектировании этих мероприятий. Оптимальные варианты выбираются такими, которые обеспечивают минимум приведенных затрат на устройство дренажа, а также водных, земельных и трудовых ресурсов при соответствующем обеспечении требуемого водно-солевого режима.

Чуйской долины наиболее крупнейший район орошаемого земледелия Кыргызской Республики, типичная для межгорных впадин аридной зоны, показывает следующие параметры: климат - резко континентальный, минерализация грунтовых вод пестрая от 0,1 до 20-25 г/л и более гидрокарбонатного, содового, содово-сульфатного, сульфатного и реже хлоридного типа.

В Чуйском долине Кыргызской Республики на мелиоративно - неблагополученных землях построена свыше 4 тысяч километров горизонтального дренажа на площади около 124 тысяч гектаров. Строительство дренажа продолжается на вновь осваиваемых землях и идет реконструкция дренажа на староорошаемых землях. Обессоливание коллекторно-дренажных вод предлагаем осуществлять методом электродиализа. Электродиализные опреснительные установки нашли широкое применение для обработки соленых подземных и поверхностных, морских, сточных вод с целью их использования в коммунальном и сельском хозяйстве, в энергетике и других отраслях промышленности.

На кафедре «ВВиГТС» разработана и проводится испытание электродиализной установки. Результаты исследований по опреснению коллекторно-дренажных вод приведены на рис. 1 и 2.

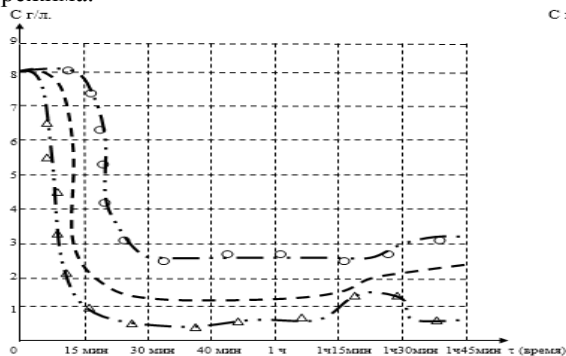
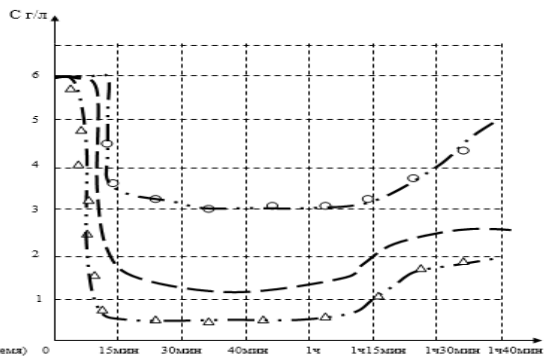


Рис.1 Удаление соли воды в зависимости от плотности тока

Экспериментальные данные получены в растворах:

$I = 5 \text{ mA/cm}^2$ — \triangle — \triangle —
 $I = 7 \text{ mA/cm}^2$ — \square — \square —
 $I = 15 \text{ mA/cm}^2$ — \circ — \circ —



Удаление соли исходной воды в зависимости от скорости потока

Экспериментальные данные получены в растворах:

$v = 20 \text{ cm/s}$ — \triangle — \triangle —
 $v = 15 \text{ cm/s}$ — \square — \square —
 $v = 10 \text{ cm/s}$ — \circ — \circ —

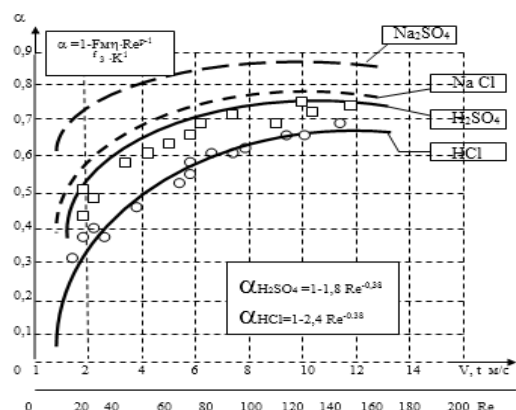


Рис.2 Коэффициент опреснения Н-катионированной воды при различной скорости потока V и числах Re (t=25°C)

Экспериментальные данные получены в растворах:

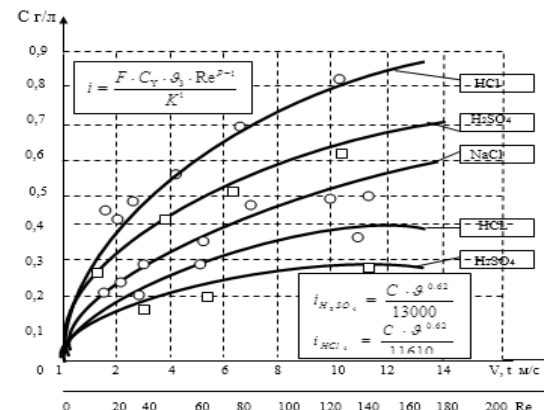
HCl - мг-экв/л: 10,3 (○); 14,5 (□); 18,9 (○);
H₂SO₄ мг-экв/л: 7,7 (□); 16,5 (□); 20,9 (□);

Расчетные значения получены для растворов:

HCl (1) при K¹=450: P = 0,62 η = 0,84

H₂SO₄ (2) при K¹=500: P = 0,62 η = 0,70

Для сравнения приведены расчетные значения для NaCl (3) и Na₂SO₄ (4) (см.рис.1)



Предельная плотность тока при электродиализе Н-катионированной воды при различной минерализации воды и скорости потока V (t = 25°C)

Экспериментальные данные получены в растворах:

H₂SO₄ - мг-экв/л: 7,7 (□); 20,0 (□);

Расчетные значения получены для растворов

HCl (1,3,4) при K¹=450: P = 0,62 η = 0,84

H₂SO₄ (2,5) при K¹=500: P = 0,62 η = 0,70

Список литературы:

1. Гребенюк В.Д. Электродиализное концентрирование имитата коллекторно-дренажных вод [Текст] / В.Д. Гребенюк, Б.К., Вейсов, Р.Д., Чебортаев и др // Журн. Прикл. Химии.-М.: 1986. №4.- С.916-918.
2. Сидько А.А. Комплексная мелиорация солончаковых и солонцовых почв при орошении.[Текст] / А.А. Сидько, С.И. Мясищев и др. – М.: 1985. –с.13-26.
3. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель [Текст] / С.Ф. Аверьянов. – М.: Колос, 1978.- 265 с.
4. Айдаров И.П. Регулирование водного солевого и питательного режима орошаемых земель [Текст] /И.П. Айдаров - М.: 1985-234 с.
5. Каримов Т.Х., Деминерализация коллекторно-дренажных вод и подземных вод Кыргызской Республики [Текст] /Т.Х. Каримов, Байгазы кызы Н. //«Наука и новые технологии» /// Материалы I съезда инженеров Кыргызской Республики.- Бишкек: 2002.-С.276-279.
6. Исманбаев А.И. Исследование ионообменных мембран для очистке солоноватых вод [Текст] /Исманбаев А.И., Каримов Т.Х., Байгазы кызы Н. //Вестник КГУСТА выпуск 3 (6).- Бишкек: 2004.- С.53-57
7. Каримов Т.Х. Использование гетерогенных мембран МА-40 и МК-40 для очистки минерализованных вод [Текст] /Каримов Т.Х., Сатыбалдиева Д.Ж., Байгазы кызы Н., Аскарова Н.И., Жайлоокеева А.М. //Государственное агентство по науке и интеллектуальной собственности при правительстве Кыргызской Республики (Кыргызпатент) /// Материалы научно-технической конференции по вопросу развития малых городов и поселков городского типа Кыргызской Республики (Токмок-2001 г.) Бишкек, 2002.-С.84-87.
8. Каримов Т.Х. Опреснение коллекторно-дренажных вод Кыргызской Республики [Текст] /Каримов Т.Х., Байгазы кызы Н., Абдурасулов А.И. //Пищевая технология и сервис - №4- Алматинский технологический университет, Алматы, 2007.-С.44-46.
9. Байгазы кызы Н. Технология обессоливания воды с использованием электродиализа [Текст] / Байгазы кызы Н. // Вестник КГУСТА выпуск 1 (31) Бишкек, 2011. -С.135-140.
10. Исманбаев А.И. Обессоливание и использование коллекторно-дренажных вод в Кыргызской республике [Текст] /Исманбаев А.И., Каримов Т.Х., Байгазы кызы Н. //Научный и информационный журнал «Материаловедение» ///Международной научной конференции №3/2015(10) Бишкек, 2015-С.88-91

Biliaiev M.M.*Doctor of Technical Sciences,**Professor of The Department «Hydraulics and Water Supply»,**Dnipro National University of Railway Transport**named after academician V. Lazaryan***Kozachyna V.A.***PhD, senior lecturer of The Department «Hydraulics and Water Supply»,**Dnipro National University of Railway Transport**named after academician V. Lazaryan***Oladipo M.O.***Researcher, Environmental Scientist, GeoLab Drilling (USA)***NUMERICAL ANALYSIS OF ATMOSPHERE POLLUTION FROM COAL TRAIN****Біляєв Микола Миколайович***доктор технічних наук, професор,**професор кафедри «Гідравліка та водопостачання»,**Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна***Козачина Віталій Анатолійович***кандидат технічних наук,**старший викладач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,**Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна***Оладіно Мутіу Олатойе***науковий дослідник, GeoLab Drilling (USA)***ЧИСЕЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ ВУГІЛЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ**

Summary: the purpose of this paper is development of numerical model for air pollution level prediction in work areas near railway road during coal transportation. Developed numerical model is based on the equation of pollutant mass transfer. For numerical integration of mass transfer equation implicit change-triangle difference scheme is used. Advantage of the developed numerical model is taking into account influence the main physical factors onto the process of coal dust dispersion in the work area air near railway during coal transportation by railway transport.

Анотація: Метою роботи є розробка чисельної моделі для оцінки рівня забруднення повітряного середовища у робочих зонах біля залізничної магістралі при транспортуванні вугілля. Побудована чисельна модель базується на використанні рівняння масопереносу забруднювача. Для чисельного інтегрування рівняння переносу вугільного пилу використовується неявна попеременно-трикутна різницева схема. Перевагою розробленої чисельної моделі є можливість врахування основних фізичних факторів на процес розсіювання вугільного пилу у робочій зоні поблизу залізничної магістралі при транспортуванні вугілля залізничним транспортом.

Key words atmosphere pollution, coal transportation, railway transport, numerical simulation, differential scheme.

Ключові слова: забруднення атмосфери, транспортування вугілля, залізничний транспорт, чисельне моделювання, різницева схема.

Постановка проблеми. Відомо, що транспортування вугілля у піввагонах призводить до великої проблеми, а саме – інтенсивне забруднення атмосфери, формування концентраційного поля пилу над вагоном, в транспортному коридорі і в робочих зонах, прилеглих до магістралі. У цих робочих зонах знаходяться різні працівники - монтери колії, сигналісти і т.д.

Для вирішення завдання про забруднення атмосфери використовують модель Гаусса [3, 4, 6], реалізовану у вигляді спеціалізованих пакетів програм типу «AERMOD», «CULPUF». Модель Гаусса не враховує ряд важливих факторів, які суттєво впливають на формування концентраційного поля пилу в робочих зонах біля залізничної магістралі. Ця модель не враховує профіль швидкості вітру, вплив самого вагона на формування локального аеродинамічного режиму, форму насипу сипучого вантажу у напіввагоні і т.д.

Тому виникає важливе завдання по створенню сучасних чисельних моделей, які дозволяють здійснювати оцінку рівня пилового забруднення робочих зон біля залізничної магістралі при транспортуванні вугілля.

Мета. Метою даної роботи є розробка чисельної моделі для прогнозу рівня пилового забруднення атмосфери при перевезенні вугілля. Основна вимога до створеної моделі – врахування основних фізичних факторів при моделюванні і малі витрати комп'ютерного часу при практичній реалізації.

Методика. На першому етапі досліджень була поставлена задача по визначенню інтенсивності емісії вугільного пилу при різній швидкості повітряного потоку, що обдуває вугілля.

Схема дослідної установки показана на рис. 1.

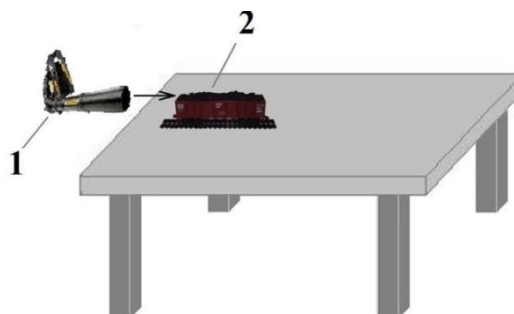


Рисунок 1 – Схема установки: 1 – воздуходувка; 2 – модель напіввагона з вугіллям

В модель напіввагону насипалось вугілля. Перед проведенням експерименту зразки вугілля були покладені в сушильні шафи марки 2В-151 на 3 години і знаходилися там при температурі 40⁰С.

При проведенні експерименту здійснювалось обдування моделі вагону з вугіллям (рис.1). При проведенні досліджень, в якості базового піввагона був обраний напіввагон марки 12-1592. Довжина напіввагона 12800мм, висота – 3474мм, ширина – 3134мм. Фізична модель піввагона була виконана в масштабі 1:100 (рис. 1). При проведенні експериментів число Рейнольдса складало близько 10⁴ – 10⁵. Продувка відбувалася протягом 10хв при різній швидкості повітряного потоку. Після закінчення продувки здійснювався збір та зважування винесеного вугільного пилу. Швидкість повітряного потоку при проведенні експерименту перебувала у діапазоні 10,5–13,4 м/с.

На основі обробки даних цього етапу досліджень була отримана емпірична залежність маси

вугільного пилу, що виноситься з одиничної площі вугілля у напіввагоні при різній швидкості повітряного потоку:

$$Q = 4.2 \cdot (V - V_{th}), \text{ мг/(м}^2\text{с)}, \quad (1)$$

де V – швидкість повітряного потоку, м/с, V_{th} – «граничне» значення швидкості, після перевищення якої починається відрив частинок (дослідне значення цієї швидкості склало V_{th}=1.58 м/с.).

Це значення величини Q використовувалось при проведенні обчислювального експерименту на базі розробленої чисельної моделі, що представлена нижче.

Математична модель. Для прогнозування рівня забруднення атмосфери при виносі вугільного пилу будемо використовувати фундаментальне рівняння масопереносу [1, 2, 5, 7, 8]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w-w_s)C}{\partial z} = \text{div}(\mu \text{grad}C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t)\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i), \quad (2)$$

де C – концентрація вугільного пилу; u, v, w – компоненти вектора швидкості повітряного потоку; $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$ – коефіцієнти атмосферної турбулентної дифузії; Q – інтенсивність викиду забруднювача від «насіпу» у напіввагоні; $\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)\delta(z-z_i)$ – дельта-функція Дірака; x_i, y_i, z_i – координати джерела викиду; w_s – швидкість гравітаційного осадження пилу; t – час.

Як зазначалося вище, параметр Q розраховувався на базі емпіричної формули (1).

Постановка граничних умов для даного рівняння була розглянута у роботах [1,2,5].

У розробленій чисельній моделі використовуються наступні залежності для того, щоб задати профіль вітру і вертикальний коефіцієнт атмосферної дифузії [3]:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^p, \mu_z = k_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^m, \mu_x = \mu_y = k_0 u \quad (3)$$

де u_1 – швидкість вітру на висоті z_1 (приймається $z_1 \approx 10$ м); $k_1 = 0,2$; $k_0 = 0,1$; $p = 0,16$; $m \approx 1$.

Чисельна модель. Для чисельного інтегрування рівняння масопереносу використовується прямокутна різницєва сітка. Концентрація C небезпечної речовини визначається в центрі різницєвих комірок, компоненти вектора швидкості повітряного середовища задані на межах різницєвих комірок.

Для апроксимації похідної за часом використовуватимемо формулу [1]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t}$$

Перед дискретизацією конвективних похідних запишемо їх у вигляді суми знакопостійних величин:

$$\begin{aligned} \frac{\partial uC}{\partial x} &= \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}, \\ \frac{\partial vC}{\partial y} &= \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}, \\ \frac{\partial wC}{\partial z} &= \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z}, \end{aligned}$$

$$\text{де } u^+ = \frac{u+|u|}{2}; u^- = \frac{u-|u|}{2}; v^+ = \frac{v+|v|}{2}; v^- = \frac{v-|v|}{2}; w^+ = \frac{w+|w|}{2}; w^- = \frac{w-|w|}{2}$$

Різницєві апроксимації перших похідних мають вигляд [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^+ C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial u^- C}{\partial x} &\approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^+ C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial v^- C}{\partial y} &\approx \frac{v_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - v_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}, \\ \frac{\partial w^+ C}{\partial z} &\approx \frac{w_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial w^- C}{\partial z} &\approx \frac{w_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - w_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z} = L_z^- C^{n+1}, \end{aligned}$$

де

$$L_x^+ = \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{i,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x}, L_x^- = \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{i,j,k}^- C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x}$$

і т.д. – позначення різницєвих операторів при апроксимації конвективних похідних, запропонованих у роботі [1]. Різницєві апроксимації других похідних записують так [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) &\approx \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}, \\ \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) &\approx \mu_y \frac{C_{i,j+1,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j-1,k}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \approx \mu_z \frac{C_{i,j,k+1}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta z^2} - \mu_z \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k-1}^{n+1}}{\Delta z^2} = M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1}.$$

Для скорочення запису різницевих рівнянь тут, як і вище, використовуються позначення вигляду

$$M_{xx}^+, M_{xx}^-, M_{yy}^+, M_{yy}^-, M_{zz}^+, M_{zz}^-,$$

Де

$$M_{xx}^+ - \mu_x \frac{C_{i,j,k}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2}; M_{xx}^- = \mu_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{i,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2}, \text{ і т.д.}$$

Використовуючи введені позначення різницевих операторів можна записати вихідне рівняння переносу у вигляді:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \\ & + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + \\ & + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \\ & + \sigma C_{ijk}^{n+1} = \\ & = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1} + \\ & + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + \\ & + Q(t)\delta. \end{aligned}$$

На наступному етапі побудови різницевої схеми здійснимо розщеплення цього різницевого рівняння на четвертому кроці при інтегруванні на часовому інтервалі dt так:

- на першому кроці розщеплення $k = \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ & = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^k); \end{aligned}$$

- на другому кроці розщеплення $k = n + \frac{1}{2}$; $c = n + \frac{1}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ & = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{Q(t)_l}{4} \delta_l; \end{aligned}$$

- на третьому кроці розщеплення $k = n + \frac{3}{4}$; $c = n + \frac{1}{2}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ & = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{Q(t)_l}{4} \delta_l; \end{aligned}$$

- на четвертому кроці розщеплення $k = n + 1$; $c = n + \frac{3}{4}$:

$$\begin{aligned} & \frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ & = \frac{1}{4} (M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^k) + \sum_{l=1}^N \frac{Q(t)_l}{4} \delta_l. \end{aligned}$$

У дискретному вигляді дельта-функція Дірака «розмазується» на одну різницеву комірку так, щоб зберегти сумарну кількість $Q(t)$ і пилю, яка викидається з комірки [1].

Зауважимо, що функція δ_l , яка використовується в різницевих виразах, не дорівнює нулю тільки в комірках, де розташовано джерело емісії

небезпечної речовини. Застосування наведеної вище схеми розщеплення дозволяє отримати різницеві рівняння простішої форми, що дає можливість здійснити їх просту програмну реалізацію.

Гранична умова непроникності реалізується в чисельній моделі за рахунок використання фіктивних комірок. Для проведення обчислювального

експерименту потрібно задати площу вугільної поверхні у кожному напіввагоні та розрахувати інтенсивність емісії вугільного пилу за формулою (1).

Результати. Розроблена чисельна модель була використана для прогнозу рівня забруднення атмосфери на залізничній станції Іларіонове (Дніпропетровська область, Україна). Через цю станцію здійснюється транспортування вугілля на Придніпровську ТЕЦ. Вагони з вугіллям рухаються через станцію з невеликою швидкістю. На рис. 2-3 показано прогнози зони забруднення атмосфери при проходженні потягу із вугіллям через станцію Іларіонове. Метою розрахунку була оцінка розмірів, форми і інтенсивності формується зони забруднення при транспортуванні вантажу.

снюється транспортування вугілля на Придніпровську ТЕЦ. Вагони з вугіллям рухаються через станцію з невеликою швидкістю. На рис. 2-3 показано прогнози зони забруднення атмосфери при проходженні потягу із вугіллям через станцію Іларіонове. Метою розрахунку була оцінка розмірів, форми і інтенсивності формується зони забруднення при транспортуванні вантажу.

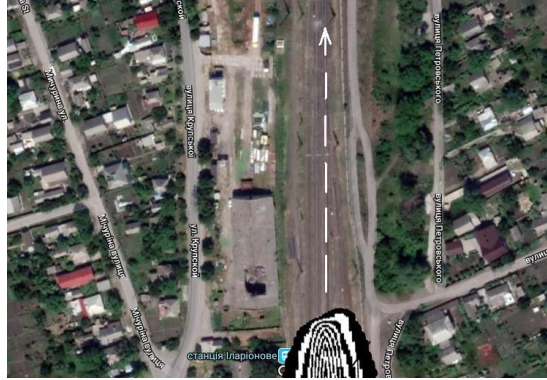


Рис. 2. Зона забруднення атмосферного повітря (рівень $z=6\text{м}$, $t=8\text{сек.}$)

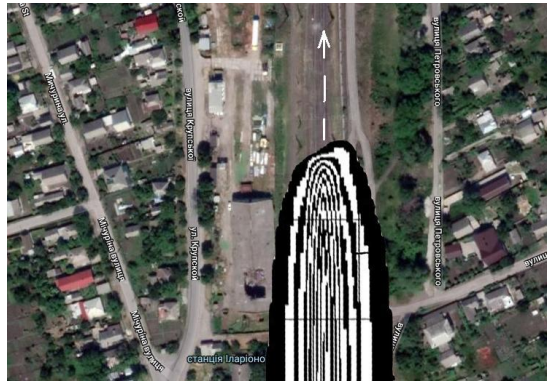


Рис. 3. Зона забруднення атмосферного повітря (рівень $z=6\text{м}$, $t=17\text{сек.}$)

Як видно з рис. 2, 3, при проходженні рухомого складу із вугіллям дуже швидко формується велика зона забруднення. Ця зона має форму витягнутого, у напрямку руху складу, еліпса.

На рис. 4 показано розподіл концентрації вугільного пилу на різній відстані від складу, у перерізі, що відповідає залізничному вокзалу на станції Іларіонове (середина будівлі). Розподіл концентрації наведено для моменту часу $t=15\text{сек.}$

$C, \text{мг/м}^3$

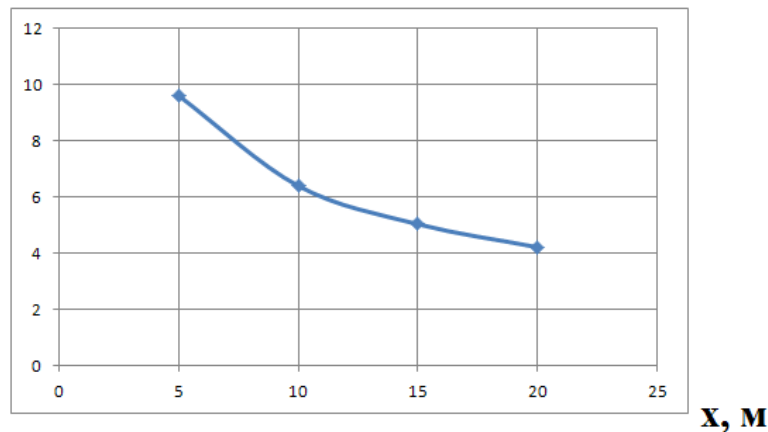


Рис. 4. Розподіл концентрації вугільного пилу біля залізничного тракту (рівень $z=3\text{м}$)

З рис. 4 видно, що концентрація вугільного пилу має дуже високі значення біля вокзалу при проходженні складу із вугіллям.

Потрібно відзначити, що розрахунок рівня забруднення атмосфери на базі побудованої чисельної моделі потребує біля 5 секунд комп'ютерного часу.

Висновки з даного дослідження та перспективи. Розглянута ефективна математична модель для розрахунку рівня забруднення атмосфери пилою викидами при перевезенні залізничним транспортом вугілля. Запропонована модель дозволяє оперативно розрахувати зону забруднення атмосфери на прилеглий до залізниці території.

Подальше вдосконалення моделі слід проводити в напрямку її розвитку для розрахунку аеродинаміки потоку при обтіканні вагонів.

Список використаних джерел

1. Беляев Н.Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина. – Днепропетровск : «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
2. Беляев Н.Н. Защита окружающей среды при транспортировке угля / Н.Н. Беляев, А.А. Карпо // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015 – № 48 – С. 223 – 228.

3. Бруязцкий, Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов / Е.В. Бруязцкий. – К.: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.

4. Гусев, Н.Г. Радиоактивные выбросы в биосфере / Н.Г. Гусев, В.А. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1991. – 257 с.

5. Марчук, Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г.И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.

6. Уорк, К. Загрязнение воздуха. Источники и контроль / К. Уорк, С. Уорнер – Москва : Мир, 1980. – 539 с.

7. Biliaiev, M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. – 2012. – P. 87 – 91. doi: 10.1007/978-94-007-1359-8_15.

8. Biliaiev, M. The Numeric Forecast of Air Pollution Caused by a Blasting Accident in the Enterprise Responsible for Rocket Fuel Utilization in Ukraine / M. Biliaiev, M. Kharitonov // Disposal of Dangerous Chemicals in Urban Areas and Mega Cities. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop. – Springer, 2013. – P. 313–327.

Anatoliï Gurnuk

*A senior teacher of department of aviation search and saving
An institute of state administration is in the field of civil defence.
Ukraine, Kyiv*

Dmytro Yadchenko

*A senior teacher of department of aviation search and saving
An institute of state administration is in the field of civil defence.
Ukraine, Kyiv*

Nykolai Kunio

*Teacher of department of aviation search and saving
An institute of state administration is in the field of civil defence.
Ukraine, Kyiv*

INFORMATION AND ANALYTICAL SOLUTIONS FOR INCREASING EFFICIENCY OF AIRCRAFT OPERATIONS OF SEARCH AND RESCUE

Гурнюк Анатолій

*Старший преподаватель кафедры авиационного поиска и спасения
Институт государственного управления находится в сфере гражданской обороны.
Украина, Киев*

Ядченко Дмитрий

*Старший преподаватель кафедры авиационного поиска и спасения
Институт государственного управления находится в сфере гражданской обороны.
Украина, Киев*

Кунио Николай

*Преподаватель кафедры авиационного поиска и спасения
Институт государственного управления находится в сфере гражданской обороны.
Украина, Киев*

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПОИСКА И СПАСЕНИЯ

Abstract. The article focuses on the necessity of creation, implementing and developing universal technologies of information-analytical activity (IAA) as a factor of influence on improving the efficiency of aircraft operations of research and rescue (AOSAR), and databases for tactical calculations.

According to the results of the study, scientific dynamic models of the functioning of a system of aircraft operations of search and rescue (SAOSAR) and its rescue coordination centers (RCC) have been created, where the strategic tool for the optimal decision-making for search and rescue works (SARW) is the information and analytical product (IAP).

Key words: aircraft search and rescue, informational and analytical activity, decision optimality, factors of influence, emergency situation, search and rescue forces, dynamic model.

Formulas: 5 ;, fig.: 4, tabl.: 0, bibl.: 24

Raising of problem. Information and analytical decisions that influence the effectiveness of ASAR practically need for better organization and prediction of their results when the managers (coordinators) take different decisions, and are considered difficult for a scientific understanding of their essence. First of all, it is connected with the powerful lever of the optimal solution in the conditions of uncontrolled development of air crashes (AC) or other emergency situations (ES) and the complexity of the dynamic environment and the variability of various factors.

Research analysis and publications. The emergence and development of situations associated with SARW in the current conditions of risk and uncertainty forces leaders of all units of the functional and territorial subsystems of the Unified State Civil Protection System (USCPS) and the subjects of the SAOSAR to make managerial decisions in the light of a comprehensive and in-depth analysis of their development and consequences.

This is evidenced by research by scientists [1; 2; 3; 4] and documentary material by practitioners [5; 6; 7; 8] on various aspects of informational and analytical support of the management system. The analysis of scientific publications and documents demonstrates the need for improved decision support systems, which is constantly undergoing transformation under the influence of information and communication technologies. It becomes highly relevant and requires research and implementation of a set of new IAA solutions to improve the efficiency of AOSAR.

Research purpose. It is investigated, using the apparatus of quantitative methods, the influence of IAA on the optimal decision by management bodies in conditions of uncertainty regarding the use of aviation search and rescue forces (ASARF) to locate the objects of the disaster.

Research results. The primary goal of ASARF management is the successful organization and effective management of the AOSAR [9]. The achievement of this goal involves the timely identification of the affected object's location (search objects), and the provision of timely assistance to the victims [10]. For the management of International Aeronautical Search and Rescue is advised to evaluate the success of the AOSAR through the definition of the target efficiency, the degree of compliance (expected performance ratio) of the ASARF with the intended main objective (planned for the scope of work) [11].

From this, the more successful the task is, the more effective the ASARF and its management. Therefore, due to the popularity of this problem or even in virtue of it, it is proposed to implement in the context of an AOSAR (E_f) performance evaluation study for an optimal solution in uncertainty through the probability of detecting a search object (P_v). The obligatory evaluation (E_f) is a clear definition and consideration of the

criterion of a generalizing (integral) indicator of the factors, which have an influence on the AOSAR's efficiency (I_{fc}) [12]:

$$E_f = P_v \times I_{fc}, \text{ where } E_f \rightarrow 1 \quad (1)$$

Conditions of uncertainty are considered to be the state when the consequences of the decisions are unknown due to the uncontrolled development of processes and phenomena following the consequences of ES, and they can only be estimated approximately. The risk erases due to the fact that in case of non-performance of certain works or their negative consequences under the influence of various factors of conditions and management, there is an opportunity to increase the number of fatal results in the victims, to increase the environmental consequences, and others.

During the determining the indicator's criteria (E_f), which is required for making optimal solutions and planning in conditions of risk or uncertainty, in accordance with the theory of large systems, mathematical modeling of processes and phenomena of AOSAR can be used. For this purpose, it is desirable, using the quantitative dependencies, to cover the whole set of factors of conditions and management that characterize the implementation of the AOSAR, all their diversity and, as a result, calculate the generalized indicators of the effectiveness of the planned actions.

The formation of a mathematical model for (I_{fc}), as a database for tactical calculations method, in the most general form, should be considered using a given mathematical function:

$$I_{fc} = F(A_1; A_2; A_3; \dots; A_n \dots; B_1; B_2; B_3; \dots; B_n \dots) \quad (2)$$

where F - sign of dependence (function);

$A_1 \dots A_n$ - management factors (depending on the decision to be taken manager (coordinator), influencing the value of E_f ;

$B_1 \dots B_n$ - condition factors (season, meteorological conditions, etc.) that affect the value of E_f and do not depend on the decision of the manager (coordinator).

The formula means that the value of the criteria (indicator) of the AOSAR's efficiency (E_f) depends on various factors.

Strategic levers of effective implementation of the AOSAR are information, analysis and forecast. Therefore, one of the management factors (A_{n+1}) is to provide a more qualitative and efficient organization of AOSAR and to manage their information-analytical activity (IAA) of the ASARF's management organs [2; 4].

To select the optimal solution in terms of risk and uncertainty, by evaluating the probability of detecting a search object (P_v), the activity of ASARF management

bodies requires at least the minimum number of possible options for the projected progress of the ES. Taking this into account, the Information and Analytical Product (IAP) becomes the key link in the process of forecasting the progress of the ES associated with the AOSAR and the involvement of homogeneous and diverse search and rescue aircraft (SARA) as the final result of the IAA in the form of a review or analytical document (message) or their combinations.

Reasonableness and competence, reliability and completeness, efficiency and relevance of the IAP enable ASARF managers to evaluate the facts of events

and events in a polyvalent way and anticipate their development in order to effectively implement the AOSAR.

It should be noted that among the output data to calculate the effectiveness of AOSAR through the evaluation and analysis of various factors over a specified period of time and taking into account the likelihood of their impact (the algorithm is depicted in Figure 1), important are the indicators of probability as a prompt and reliable receipt of IAA (P_{odi}) and its relevance and completeness (P_{api}) [13].

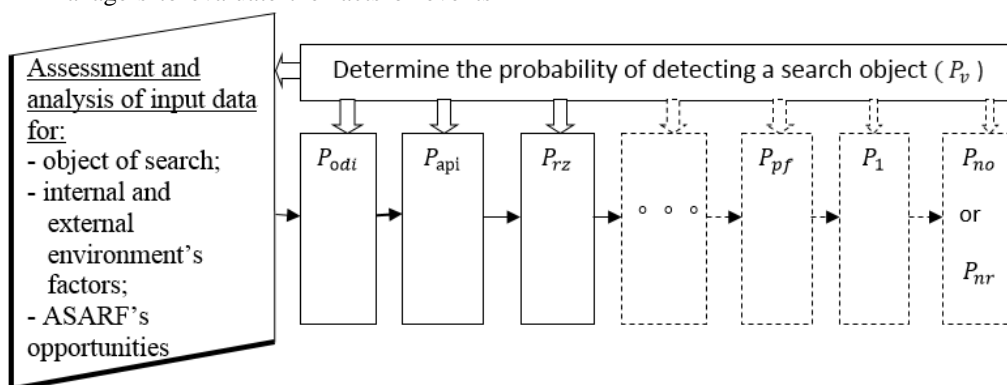


Figure 1 - Algorithm for determining the effectiveness of the AOSAR's implementation

where P_{odi} – the probability of a prompt receipt of a reliable IAP for a search object;

P_{api} – the probability of the relevance and completeness of the searched object's AIP;

P_{rz} – the probability that the ASARF will enter the district (district sector) after the IAP study;

P_{pf} – the probability of overcoming the destabilizing factors of influence under uncertainty;

P_1 – the probability of a task to detect a search object by one ASARF;

P_{no} – the probability of performing a task with a given number of identical ASARF;

P_{nr} – the probability of performing a task with a given number of different ASARF.

After performing calculations for all factors, the probability of detecting a searched object (P_v) with a given number of identical (P_{no}) or different (P_{nr}) ASARF, depending on the circumstances and conditions of the ES and the detected destabilizing factors for ASARF, the probability of performing the task during the AOSAR must be determined. In the future, the effectiveness (determined by the target efficiency indicator) of the AOSAR (E_f) is estimated and an optimal solution in uncertainty is made.

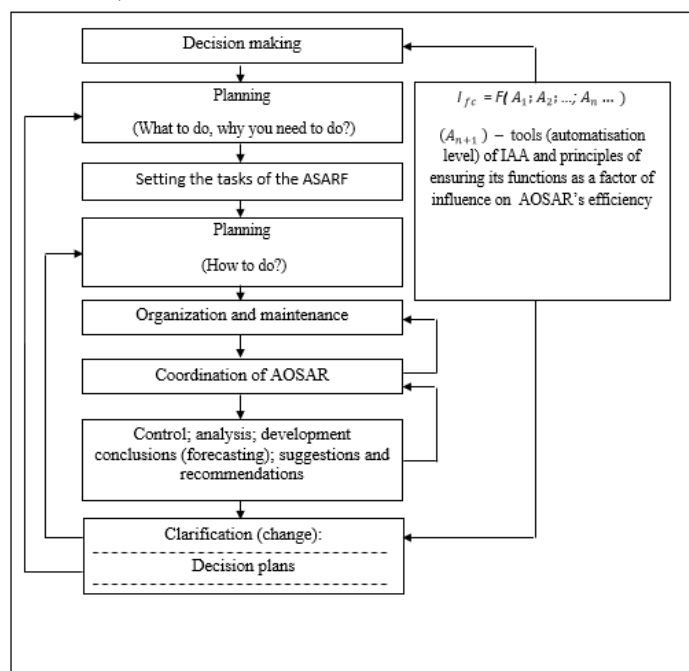


Figure 2 - Model of the functioning of the management process, taking into account the IAA, to implement the decision on the implementation of AOSAR

IAA is not only a process of the technical nature of collecting and processing information about the situation that emerged from the consequences of ES, but also a creative approach to the analysis of its objects and subjects and the assessment and qualitative and contextual transformation into the chosen solution. Such an approach to the analysis and evaluation of IAA involves the effective use of scientific techniques and materials of operational analytical research. The practical use of these techniques and research is to identify actual problems in order to produce useful and new knowledge in determining the optimal solution for improving the efficiency of AOSAR.

Limited or inaccurate information leads to a certain degree of incompleteness of the IAP and the adoption of a subjective decision in terms of risk or uncertainty.

The best way to make a decision for the implementation of ARPRs in terms of risk or uncertainty is advisable to formulate using the "optimal strategy" [14] method, taking into account the most efficient use of aviation ASARF as outlined below.

There is a certain amount of ASARF for the implementation of AOSAR [15: p.1; p.2, pp.2.5; annex] and states (degrees) of their readiness (R_i) [16: section 2, chapter 7, p. 4, annex 3].

ASARF (of the same type and different types) in their combination may be some set of variants ($V_i = 1, 2 \dots k \dots$) of decisions on the implementation of ARPR with their values (C_{sar}) of these works. Option (V_{k+1}), is considered as the optimal solution from the set of variants (V_i), which would satisfy the condition:

$$V_{k+1} = \min C_{sar} \quad (3)$$

with limited

$$T_s \leq T_n \quad (4)$$

where T_s – time, sufficient for degrees of readiness (R_i) ASARF for AOSAR according to the i -th option according to the decision within the normative time

(T_n) for such reasons as to ensure the maximum reduction of the risk of fatal outcome.

In this case, the normative time (T_n) should include the entire volume of AOSAR [16: section 1, paragraph 3, par.9], given that their execution is always associated with risk or uncertainty conditions, as well as time expenditures for delivery of ASARF, medical personnel and equipment, as well as delivery of victims to safe places, etc.

In order to choose an option for AOSAR, it is expedient to determine the criterion of making the optimal decision in conditions of risk or uncertainty. Taking into account inadequacy or inaccuracy of the information about the status of the search object and the risk or uncertainty under the AOSAR's implementation, the optimization task may be more appropriate using the Sevice criterion [17].

The Sevice criterion provides from a plurality of variants (V_i) the choice of an optimal solution - more approximated to the maximum probability of the variant V_{k+1} . In this case, different indicators are used to select the optimal solution, which maximizes the possible effectiveness of the AOSAR and minimize possible losses.

Thus, a special attitude towards IAA objects is primarily directed towards identifying and studying other technical and organizational factors of management and the nature of their functional crossing (interaction) and subsequent implementation by the subjects of the AOSAR's coordination.

The formulated scientific problem, based on the ever-increasing complexity and high requirements for the implementation of AOSAR, requires a scientific solution by searching for additional universal information-analytical (forecasting, communication) technologies of the decision-support system to facilitate a more prompt assessment of the ES's facts and forecasting options for their development according to the algorithm, as shown in the diagram of Figure 3.

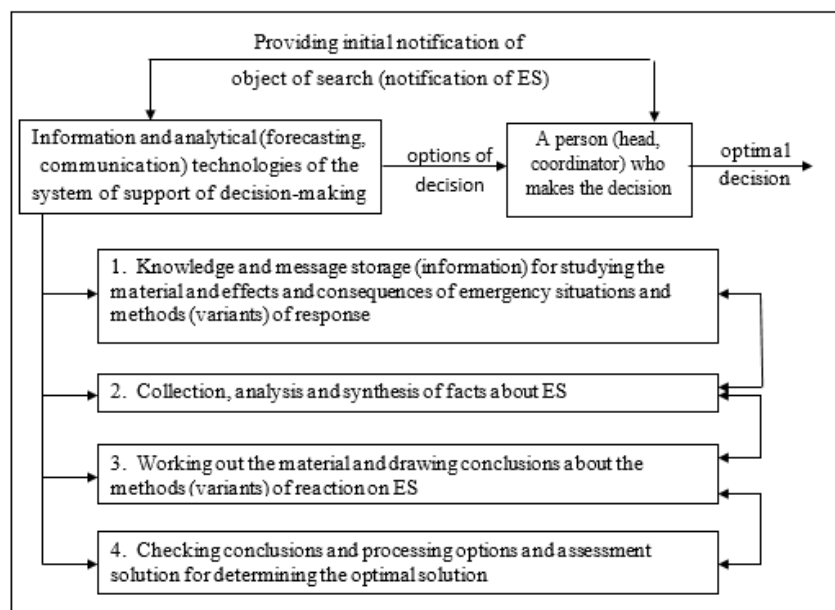


Figure 3 - Decision support scheme system for making the best decision

The results of the analysis of search and rescue services operation in Europe and American countries suggests that IAA management based on the natural intelligence and computer technologies operating information arrays and methods for modeling the processes of AOSAR at both state and regional and object levels. Normative and descriptive decision making theories and their structured qualitative (quantitative and hybrid), based on the processing of information and artificial intelligence, probabilistic and causative methods and models, are used to provide optimal solutions in terms of risk and uncertainty.

The difference lies only in the means and principles of the information and analytical process's automation concerning the search and collection, processing and presentation of information for choosing action options (what and when to do, what to do, how to do it). Action options are needed to make the optimal solution (Figure 3) as the central point of the i -th quality and efficient management process [17].

One of these factors for the effectiveness of IAA is automation of management processes for the adoption of optimal solutions for the organization and conduct of AOSAR [18]. Its influence on the increase of the criterion of the effectiveness of the functioning of the management bodies of the implementation of AOSAR (Q_{da}), with the receipt of information or since the onset of the AC or other ES, may be a leading [19].

To determine the criterion of the indicator of control process automation's degree ($Q_{da} \rightarrow 1$) for improving the efficiency of the AOSAR's implementation it is expedient to simulate the comparative evaluation criteria of the real (A_{n+1}) automated control system (ACS) with the criterion of some ideal ACS ($A_{isa} = 1$). The obtained criterion of the parameter ($Q_{da} \rightarrow 1$) will be a characteristic of the degree of the automated control system's improvement by the control processes of the AOSAR's implementation under the conditions considered for the use of the ASARF in order to determine the location of search objects [18, 20]:

$$Q_{da} = \frac{A_{n+1}}{AQ_{isa}} \rightarrow 1 \quad (5)$$

The solution of the problem of the AOSAR's control modelling, under the condition of ($Q_{da} \rightarrow 1$), involves the mandatory installation in the control system of the modern software product (SP) and the use of its system and application software.

When constructing an automatic control system, it is expedient to use SP based on full-featured geographic information systems and technologies (GIS technologies) in combination with the received data of the Global Positioning System (GPS). This will provide the opportunity to get better results by locating the search object and tracking its movement and optimizing the route of the ASARF, displaying them on an online map with real-time data updates.

At the same time, one of the main tasks of creating an internal integral structure of the automated control system, as technology IAA for the optimal solution can be the construction of a logical-linguistic model, along with mathematical [19; 21; 22; 23; 24]. The first enables:

- a) to predict the probability of the ES's emergence related to the ASARF and to identify the objects of the search, taking into account the assessment of the impact of various factors, and to display (reproduce) the processes of their logical description adequately to the real action;
- b) provide on the basis of automated workplaces (AW) the development and maintenance of solutions;
- c) simulate solving with a series of machine experiments of a wide range of folding tasks for search and rescue;
- d) formalize specific content information about search objects to ensure the organization and management of the implementation of the AOSAR.

A generalized algorithm for the implementation of functional characteristics of the IAA automation system, which specifies the conditions, sequence of calculations and the procedure for the organization and implementation of AOSAR, is shown in the form of a generalized algorithm in Figure 4.

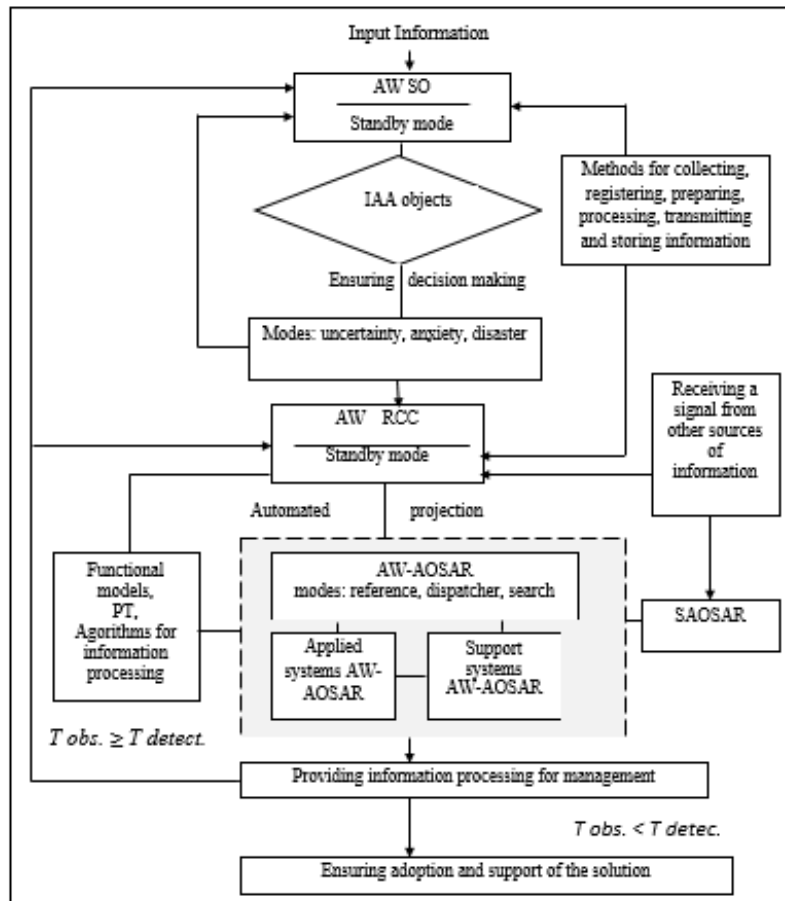


Figure 4 - A generalized algorithm for the implementation of AOSAR's functional characteristics

A generalized algorithm describes the process of the SAOSAR's functioning and its IAA automation system in established modes ("Reference", "Dispatcher", "Search") in time, with preservation of its logical structure and sequence of protocol procedures defining the order of processing and data transmission for bringing the next RCC in the required degree of readiness for the implementation of AOSAR.

Conclusions and suggestions. IAA is an integral part of the functioning of the SAOSAR. The main functions of informational and analytical decisions are to increase the efficiency of AOSAR in conditions of risk or uncertainty regarding:

a) organizing the work and management of duties of RCC, ASARF, and other operational forces that are allocated to strengthen during the implementation of the SARW;

b) ensuring interaction and coordination between the subjects of the SAOSAR, monitoring the completeness and timeliness of the tasks.

These functions attract the attention of researchers and practitioners who research and implement and use IAA technology development to meet the needs of aviation rescuers.

Prospects for further exploration can be the most important problems of the development of new methods and means of intellectualization IAA, the methods of applying information and analytical technologies for the adoption of optimal managerial decisions.

References:

1. Ганцюк Т.Д. Інформаційно-аналітичне забезпечення діяльності органів публічної влади в Україні / Т.Д. Ганцюк // Електронний журнал «Державне управління: удосконалення та розвиток» включено до переліку наукових фахових видань України з питань державного управління (Наказ Міністерства освіти і науки України від 22.12.2016 № 1604) www.dy.nayka.com.ua | № 8 2018 р. | 31.08.2018.
2. Пугач А. Шляхи удосконалення інформаційно-аналітичної діяльності в системі державного управління України / А. Пугач // Вісник Національної академії державного управління. – 2010. – № 4. – С. 96-100.
3. Труш О.О. Інформаційно-аналітичні засоби забезпечення державного управління у провідних країнах світу: досвід для України / О. О. Труш, О. П. Гудима, І. С. Новік // Теорія та практика державного управління. – 2014. – № 3. – С. 287–295.
4. Сілкова Г. Інформаційно-аналітична діяльність як напрям інформаційної діяльності / Г. Сілкова // Вісник книжкової палати. - 2001. - №2. - С.14-15.
5. Про доступ до публічної інформації [Текст] : Закон України від 13 січня 2011р. № 2939-VI із змінами 2018 р // . – Ідентифікатор: 2939-17.
6. Про інформацію [Текст] : Закон України від 2 жовтня 1992р. № 2657- XII із змінами 2017 р // . – Ідентифікатор: 2657-12.

7. Про затвердження Статуту дій у НС органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби ЦЗ та Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби ЦЗ під час гасіння пожеж [Текст] : Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 26 квітня 2018р № 340 // . – Ідентифікатор: Z0801-18/
8. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні за 2017 рік – УкрНДІЦЗ. - К.: 2017 – 345 с.
9. Law of Ukraine from 11.07.2000 N 112-IV «About protocols ratification relating to changes in the Convention about International Civil Aviation (Chicago Convention 1944)»: Annex 12 “Search and Rescue”.
10. Gurnyk, A. V. (2018). To question of evaluation of factors of influence in system realization of aviation works from search and rescue / Współpraca Europejska (European cooperation) «podejscie naukowe & Zastosowane Technologie» (scientific approaches and applied technologies). - № 2(33), P.9-17.
11. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. Том 1 «Организация и управление». – ИМО/ИКАО, Doc 9731-AN/958. – Лондон, Монреаль, 2010. – 116 с.
12. Gurnyk A.V. On the issue of aviation works for searching using a visual way / A.V. Gurnyk // Scientific Herald Ukrainian Research Institute of Fire Safety. - 2015. - №1 (31). - P. 99-109.
13. Рогозін А.С. Методи розрахунків дієвості авіації для пошуково-рятувальних робіт у надзвичайних ситуаціях / А.С. Рогозін, А.В. Гурник // Збірник матеріалів міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи». – 2014. – С.151-154.
14. Волков И.К. Исследование операций / И.К.Волков, Е.А. Загоруйко – М.: МВТУ им. Баумана. – 2004. – С. 238-276.
15. Про заходи щодо вдосконалення організації та проведення авіаційних робіт з пошуку і рятування: постановка Кабінету Міністрів України від 14 листопада 2012 р. № 1037 // Офіційний вісник України. – 2012. – № 87. – С. 56. – Ст. 3535. – код акту 64308/2012.
16. Про затвердження Правил авіаційного пошуку і рятування в Україні [Текст] : Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 16 березня 2015 р. № 279 // . – Ідентифікатор: z0364-15.
17. Голінко В. В. Обґрунтування показників та критеріїв оцінки ефективності організації взаємодії суб'єктів прикордонної безпеки / В.В. Голінко, Д.Ю. Голеватий, А.І. Мостовий // Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. – 2017. – № 3 (61). – С. 23-26.
18. Аналіз функціонування системи авіаційного пошуку і рятування в Україні та визначення шляхів підвищення її ефективності / ІДУЦЗ, НДР «Авіапошук – ефективність», К. –2013. – С. 30-66.
19. Обґрунтування тактико-технічних вимог до автоматизованої системи управління авіаційним пошуком і рятування в Україні / УкрНДІ ЦЗ НДЦ авіації, НДР «АСУ-ПОШУК». К. –2016. – 229 с.
20. Anatoly Gurnyk. Multi-purpose system of telecommunication networks and automation for aircraft works in search and rescue / Anatoly Gurnyk, Sergei Chumachenko, Pavel Kirchu, Stanislav Valuiskyi, Inga Uryadnikova, Oleksandr Lysenko, Andrei Semenchenko // Medzinárodného vedeckého seminára Akadémie ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika «Riadenie bezpečnosti zložitých systémov 2013». – Bratislava, Slovensko. – 18-22. februára 2013. – С.131-137.
21. Гурник А.В., Козловський В.О., Шабала В.І. Аналіз функціонування авіаційного пошуку та рятування України із застосуванням системного підходу / А.В. Гурник // Науковий вісник Академії муніципального управління: Серія «Техніка». – 2012. – № 5. – С. 38–49.
22. Власюк Ю.Ю. Особливості імітаційного моделювання економічних систем / Ю.Ю. Власюк // збірник наукових праць Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. – № 4(24). – С. 33-35.
23. Іщук О.О. Урядова інформаційно-аналітична система України з надзвичайних ситуацій (УІАС НС) - як базова модель єдиного інформаційно-аналітичного простору відомчих ІАС України / О.О. Іщук // Ученые записки Таврического университета им. В.И. Вернадского - серия «География» – т.22 (61) – №1, – 2009 г. – С. 33–38.
24. Землянський О.М. Структура та принципи побудови автоматизованої системи управління протипожежним захистом / О.М. Землянський, А.О. Биченко, В.О. Колесник, А.В. Поздєєв // зб. наук. пр. «Пожежна безпека: теорія і практика» Акад. пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля. – 2013. – №14. – С. 21-26.

*Довгополов Андрій Юрійович**аспірант,**Сумський державний університет, м. Суми**Некрасов Сергій Сергійович**кандидат технічних наук,**Сумський державний університет, доцент, м. Суми*

РОЗРОБКА ТЕОРІЇ ФОРМОУТВОРЕННЯ РІЗАННЯМ ВНУТРІШНЬОЇ ГВИНТОВОЇ ПОВЕРХНІ З КРУГЛИМ ПРОФІЛЕМ В ДЕТАЛЯХ ВИГОТОВЛЕНИХ З АРМОВАНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Dovgopolov A.Y.**Postgraduate student,**Sumy State University, Sumy, Ukraine**Nekrasov S.S**Candidate of Technical Sciences (Ph.D.),**Docent, Associate Professor, Sumy State University, Sumy, Ukraine*

CREATION OF THEORY MACHINING INTERNAL HELIX ROUND PROFILE MADE IN REINFORCED COMPOSITES

Анотація З метою дослідження можливості утворення якісно нового роз'ємного з'єднання для деталей з армованих композиційних матеріалів, була розроблена, на основі раніше відомого методу технологія виготовлення подібного роз'ємного з'єднання [4]. З урахуванням всіх рекомендацій для даного типу матеріалів [1] створена геометрія інструменту, та визначені умови обробки підібране обладнання та приладдя для реалізації приведеної технології обробки.

Abstract With a research objective of a possibility of creation of qualitatively new detachable joint for details from the reinforced composite materials, the manufacturing techniques of a similar detachable joint were developed on the basis of earlier known method [4]. Taking into account all recommendations for this type of materials [1] the tool geometry is created, and processing conditions are defined the equipment and accessories to realization of the given technology of processing is picked up. The recommended geometrical parameters of the cutting tool for processing of the reinforced composite materials the following: front corner $\gamma = 20 - 30^\circ$, rear corner $\alpha = 10 - 15^\circ$, point corner $\beta = 50 - 60^\circ$. The mode is realized on multiple-purpose the equipment, without use of the additional equipment and devices. Taking into account all recommendations it was also succeeded to develop new technology for a detachable joint in the reinforced composite materials. The purpose of work was development of manufacturing techniques of the offered detachable joint for the details made of the reinforced composite materials. Methods of the decision is an adaptation of earlier known mode to our conditions of processing, it very well turned out. As a result of the done work everything very well managed to be reached all objectives.

Ключові слова: армовані композиційні матеріали (АКМ); роз'ємне з'єднання; кругла різьба; технологія виготовлення; фрезерування.

Keywords: reinforced composite materials; plug contact; round thread; manufacturing technology; milling.

Вступ

На сьогоднішній день, технічно передові підприємства виготовляють продукцію цивільного і спеціального призначення для авіаційної і ракетно-космічної галузі. Розвиток цієї наукомісткої техніки нерозривно пов'язаний з розробкою нових конструктивних рішень, прогресивних технологій, вдосконаленням існуючих або створенням нових матеріалів. Серед нових матеріалів останнім часом велика увага приділяється армованим композиційним матеріалам (АКМ), що володіють унікальними властивостями. Найпоширенішими АКМ вважаються вуглепластик та склопластик, завдяки своїм

високим показникам міцності, порівняно невисокою ціною матеріалу та досить невеликою масою.

Останнім часом, вуглепластик та склопластик, почали широко використовувати для виготовлення корпусних деталей. Але проблема з'єднань які можна застосувати до даних матеріалів, досі залишається на першому місці. Найбільш застосовуваними для з'єднання АКМ, залишаються два типи з'єднань: заклепкове, та клейове рисунок 1. Ці два методи з'єднання деталей мають суттєві недоліки. Перше це те, що клейові та заклепкові з'єднання можна застосувати до невеликого числа деталей, а основне це те що не можливо багаторазово розібрати з'єднання без його руйнування.

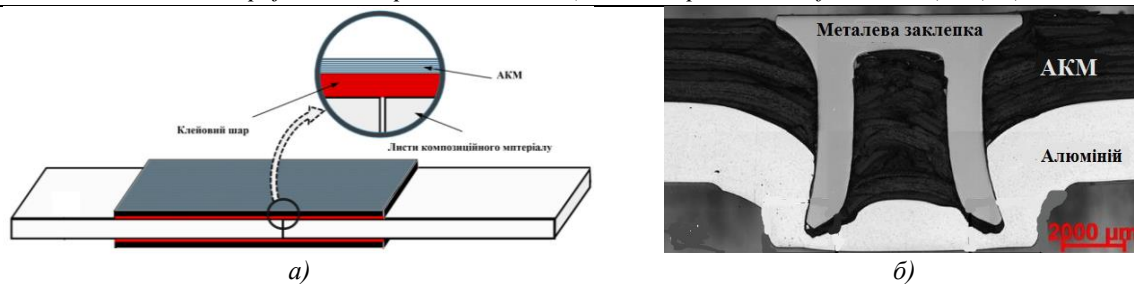


Рис. 1 – Клейове та аклепове та з'єднання АКМ

Оскільки, проблема створення та виготовлення працездатного та якісного роз'ємного з'єднання для АКМ досить актуальна і має досить велике народногосподарське значення було запропоновано для вирішення даної проблеми новий тип роз'ємного з'єднання, та саму технологію виготовлення даного з'єднання.

Мета роботи

Розробка теорії формоутворення різанням внутрішньої гвинтової поверхні з круглим профілем запропонованого роз'ємного з'єднання в деталях виготовлених з армованих композиційних матеріалів.

Викладення основного матеріалу

Дослідженню основних з'єднань для деталей з армованих композиційних матеріалів присвяченні роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених. В роботі Я. С. Карпова запропоновані, нові способи з'єднання композиційних матеріалів (КМ) базуються на комбінації безперервного з'єднувального елемента (клей, будь який інший з'єднувальний матеріал) з дискретними кріпильними елементами (штифти, шайби, ребра) [6]. В аналітичному огляді [2], міститься досить детальний опис з'єднань з безперервним з'єднувальним шаром (наприклад, клейових).

Роботи В. В. Вороб'я, Я. С. Карпова, та О. С. Сіроткіна присвячені дослідженню механічних з'єднань (заклепових, болтових та ін.) з композиційних матеріалів [7-9]. А. А. Вакер та М. С. Ніу досить детально, описали, в своїх роботах, розробку основних типів з'єднань для деталей літальних апаратів [3, 10].

В своїх роботах пов'язаних з механічною обробкою сучасних композиційних матеріалів Л.

М. Duraо, В. А. Матвиенко встановили, що даний процес є вельми ємким та дорогим, та вимагає застосування нового інструменту та обладнання [5, 11]. У своїй роботі присвяченій дослідженню з'єднань високонавантажених деталей з композиційних матеріалів, ґрунтуючись на запропонованих способах з'єднань деталей з КМ, Я. С. Карпов стверджує, що традиційні види з'єднань, які активно застосовуються для металевих конструкцій, малоефективні для композитів [6]. R. Zemann у своїй роботі присвяченій дослідженню міцності гвинтових з'єднань, досить детально дослідив міцність гвинтового з'єднання виготовленого в армованому вуглепластику [12].

Армовані композиційні матеріали досить дорогі, дуже складні в ремонті та в з'єднанні між собою, але незважаючи на всі ці ознаки, їх досить активно впроваджують у військову техніку, машинобудування, спорт і медицину. Задача отримання якісного та працездатного роз'ємного з'єднання в АКМ є актуальною задачею.

Для реалізації роз'ємного гвинтового з'єднання виготовленого в армованому композиційному матеріалі, запропоновано використати круглу різьбу тому що вона, краще з усіх типів різьб працює на зріз та характеризується досить великою стійкістю і підвищеним опором динамічним навантаженням за рахунок відсутності гострих концентраторів напружень [13]. Профіль даної різьби представлений на рисунку 2, основні параметри якої це крок p та глибина профілю t , а також зовнішній D і внутрішній D_1 діаметри різьби та R_1 і R_2 – радіуси вершин і впадин профілю, відповідно.

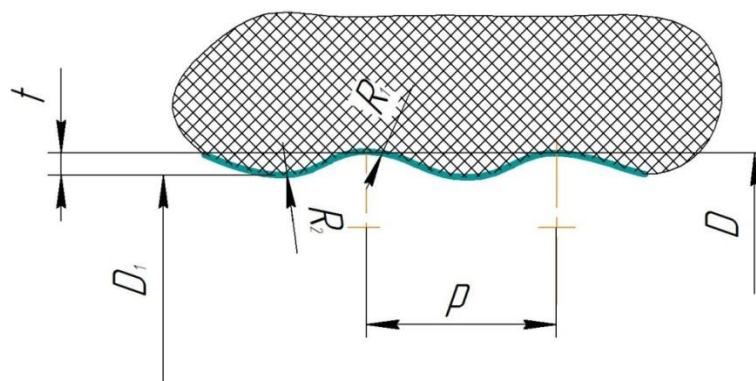


Рис. 2 – Основні параметри круглої внутрішньої різьби

Існують наступні способи отримання гвинтової поверхні в деталях із армованого композиційного матеріалу: формоутворення різанням, пресуванням, заливкою компаунда, формуванням профілю, отримання профілю при відцентровому формуванні та ін.

Для армованих матеріалів нарізування різьби способом механічної обробки є переважаючим способом формоутворення різьбової поверхні, що забезпечує необхідну точність різьби. Проте не можна не враховувати і той факт, що міцність з'єднання, яка залежить як від фізико-механічних властивостей матеріалів деталей, що з'єднуються, так і від методу отримання різьби, буде нижчою ніж при формоутворенні різанням, через руйнування армуючих шарів склопластикового матеріалу та порушення цілісності його армованої структури в районі утворення різьбової поверхні. Все ж таки метод формоутворення різьби різанням знаходить широке застосування для армованих композиційних матеріалів і має свої особливості при обробці даних матеріалів, врахувавши які можна отримати досить точну і якісну різьбову поверхню [14]. На основі зазначених тверджень і було вирішено отримати різьбову поверхню способом механічної обробки.

В нашому випадку за основу технології виготовлення гвинтових поверхонь, був взятий раніше розроблений спосіб обробки круглих різьб методом огинання, оскільки лише в цьому методі геометрія інструмента не впливає на формування профілю різьби, а також він формо утворює гвинтову поверхню за один установа [4]. Армовані композити, в нашому випадку склопластик, як відомо, краще обробляти гостро заточеним різцем. Перевагою

цього методу також є те, що обробка гвинтової поверхні відбувається за один прохід що зменшує час обробки, а отже і час контакту ріжучої кромки з АКМ також зменшується, що позитивно впливає на сам процес різання та не допускає миттєвого зростання температур та зносу ріжучої кромки.

Механічна обробка композиційних матеріалів значно відрізняється від обробки металів [1]. Армовані композиційні матеріали також різняться між собою за своїми властивостями та обробляються з урахуванням індивідуальних особливостей. Відмінності властивостей, що впливають на оброблюваність матеріалу, всередині групи композитів набагато більш значні, ніж наприклад, між металами. В свою чергу це створює певні труднощі при виконанні обробки армованого композиційного матеріалу. Найчастіше початок виготовлення виробів з цих матеріалів вимагає повного переосмислення традиційних методів обробки, переліку використовуваного інструменту, способу закріплення заготовки, а в деяких випадках навіть застосування спеціалізованого обладнання і оснащення [1].

В процесі механічної обробки різанням АКМ ріжуча кромка викликає відшаровування волокон, тому при різанні АКМ вона повинна бути максимально гострою, щоб запобігти виникненню тертя між інструментом та заготовкою. Для прикладу на рисунку 3 показане свердло від компанії Sandvik, геометрія заточування якого, згідно даних зазначених виробником 85 PT а сплав CD10. Використання даного свердла у сукупності зі всіма вказаними ознаками дозволяє досягати великої якості при обробці отворів [15].



Рис. 3 – Свердло від компанії Sandvik для обробки АКМ [15]

Для якісної та довготривалої обробки армованих композиційних матеріалів, ймовірність зношення інструменту повинна бути мінімальною, оскільки будь-які зміни геометричної форми ріжучої кромки приведуть до миттєвого зростання температур в зоні різання і критичного зносу кромки. Геометрію інструменту потрібно підбирати так щоб забезпечити легке ненавантажене різання з виникненням мінімальних сил різання [16]. Геометричні параметри різального інструменту що рекомендуються для обробки армованих композиційних матеріалів, мають наступні межі варіювання: передній кут: $\gamma = 20 - 30^\circ$, задній кут: $\alpha = 10 - 15^\circ$, кут загострення: $\beta = 30 - 60^\circ$ [16].

Обробка різанням армованого склопластикового матеріалу має ряд особливостей, які зводяться до наступного.

1 Яскраво виражена анізотропія властивостей. Вона визначає відмінність процесу різання при обробці вздовж і поперек армуючих волокон. Схема армування істотно впливає на якість і про-

дуктивність обробки, тому при розробці технологічної операції механічної обробки композиційних матеріалів слід враховувати також напрям обробки відносно напрямку армування.

2 Складність отримання високої якості поверхневого шару. Шарувата структура призводить до того, що при зношуванні інструменту відбувається розшарування матеріалу. Крім того при перерізанні армуючих волокон, особливо при перерізанні армування, спостерігається розкуйовдження перерізанних волокон, що призводить до погіршення якості поверхневого шару, тому іноді застосовують додаткову обробку операцію, наприклад, зачистку.

3 Низька теплопровідність матеріалів, що обумовлює погане відведення теплоти із зони різання в стружку та в оброблювану деталь. Тому при обробці високоміцних композиційних матеріалів основна доля теплоти відводиться через різальний інструмент. Згідно з експериментальними даними тепловий баланс при обробці полімерних матеріалів наступний: в інструмент –

90%, в стружку – 5%, в оброблену деталь – 5%, тоді як при обробці металів іноді до 90% теплоти відноситься стружкою і тільки 10% поглинається деталлю та інструментом [16].

4 Інтенсивна дія скловолокна, що має високу твердість і абразивну здатність.

5 Високі пружні властивості. Сили різання при обробці композитів в 10 – 20 разів нижче, ніж при обробці металів, а пружні характеристики вищі, тому точність обробки в меншій мірі визначається пружними деформаціями системи: верстат – оснастка – інструмент.

6 Неможливість застосування мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). Це обумовлюється тим, що більшість армованих композиційних матеріалів досить сильно поглинають вологу. Тому застосування МОР у багатьох випадках спричиняє за собою введення додаткової операції – сушки виробу – або взагалі призводить безповоротну зміну фізико-механічних властивостей матеріалу.

7 Специфічні вимоги техніки безпеки при різанні композиційного матеріалу. Це пов'язано з виділенням найдрібніших часток матеріалу при різанні.

Дуже важливу роль в забезпеченні високих експлуатаційних показників виробів з армованих композитів відіграє стан поверхневого шару виробу. Він має істотний вплив на міцність, знос, діелектричні показники, водопоглинання та ін.. Механічна обробка істотно змінює властивості поверхневого шару (а саме шорсткість поверхневого шару), яка впливає як на водопоглинання та показники міцності, так і на зносостійкість. Розріз армуючих волокон призводить до зниження міцності виробів на 20%.

Механічна обробка виробів з армованих композиційних матеріалів інтенсифікує процес водопоглинання. Це відбувається за рахунок того, що при обробці, по-перше, знімається завжди наявний на

поверхні шар полімеризованої матриці, що є ніби захисним шаром; по-друге, перерізуються армуючі волокна наповнювача; при цьому утворюються мікротріщини і інші дефекти матеріалу, що порушують його міцність [17]. Згідно всього представленого вище механічна обробка армованих композиційних матеріалів – досить складний та високотехнологічний процес, що потребує значних матеріальних на наукових затрат, та врахування всіх перерахованих особливостей для обробки, щоб досягнути необхідного результату.

Для нарізування круглої різьби в армованому склопластиковому матеріалі запропонованою технологією [4], був виготовлений однозубий інструмент, що має гострий кут заточування. На початку проведення експериментального освоєння даної технології обробки, в якості інструментального матеріалу була використана швидкорізальна сталь Р6М5, вибір даного інструментального матеріалу був зумовлений частим використанням його в промисловості, та досить не високою ціною. Але після формоутворення перших різьбових поверхонь було виявлено, що вже після нарізання різьби в першому отворі інструмент отримав значне зношення і потребував подальшого заточування. Саме через причини швидкого зношення, для подальших експериментів було вирішено застосовувати в якості інструментального матеріалу твердий сплав.

Однозубий інструмент був виготовлений з особливо малозернистого твердого сплаву К55SF виробник фірма Guhring (Німеччина). Основні властивості даного інструментального матеріалу зазначені виробником приведені в таблиці 1. Інструмент виготовлявся методом ручної заточки зі твердосплавного циліндра діаметром 6 мм довжиною 35 мм. На рисунку 4 представлений ескіз виготовленого однозубого інструменту з вказаними основними геометричними параметрами, які назначалися згідно рекомендацій зазначених вище.

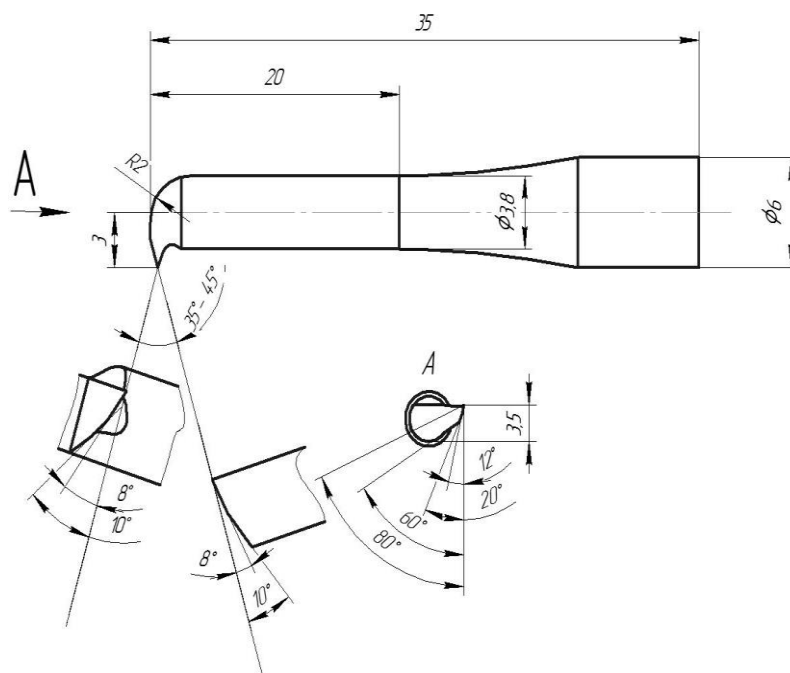


Рис. 4 – Ескіз виготовленого однозубого інструменту

Основні властивості інструментального матеріалу однозубого інструменту [18]

Марка сплаву	Вміст кобальту Co [M%]	Розмір зерна [мкм]	Твердість [HV]	Класифікація ISO [ISO 513]
K 55 SF	9	0,2 – 0,5	1920	K10 – K30

На рисунку 5, а показано фото однозубого інструменту що кріпиться в спеціальній втулці, а на рисунку 5, б 3D – модель інструменту виконана в середовищі SOLIDWORKS.



Рис. 5 – Однозубий інструмент для обробки круглої різьби:

а – фото однозубого інструменту що кріпиться в спеціальній втулці; б – 3D-модель інструменту виконана в середовищі SOLIDWORKS

Для виконання формоутворення гвинтової поверхні представленим методом [4], його необхідно було адаптувати конкретно для нашого випадку. Для цього додатково в систему обробки потрібно ввести розточувальний пристрій, який допоможе реалізувати процес нарізування різьби в армованому склопластиковому матеріалі запропонованою технологією. Даний розточувальний пристрій представлений на рисунку 6.

Після отримання всіх елементів системи різання для проведення процесу формоутворення різанням круглої різьби, та визначення всіх конструктивних параметрів для обробки, було успішно

виконано круглу різьбу в армованій склопластиковій пластині запропонованою технологією.

Схема обробки круглої різьби однозубим інструментом в склопластиковому армованому матеріалі представлена на рисунку 6, а. Згідно представленої схеми армований матеріал обробляється однозубим інструментом, закріпленим в розточувальній пристрої, який закріплюється в цанговій оправці фрезерного верстата з ЧПК моделі 6P13Ф3. На рисунку 6, б представлено фото процесу фрезерування, на якому також показані всі елементи системи різання.

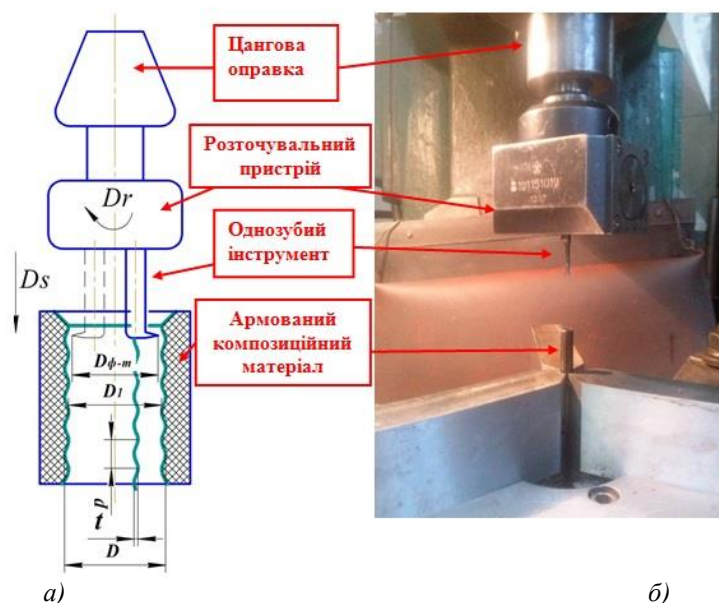


Рис. 6 – Обробка круглої різьби в АКМ:

а – спрощена схема обробки; б – фото процесу обробки.

Реалізація процесу формоутворення круглої гвинтової поверхні методом огинання [4] відбулася на фрезерному верстаті з ЧПК моделі 6P13Ф3, для якого була написана спеціальна керуюча програма на обробку круглої різьби. Режими різання були такими: частота обертання шпинделя $n = 2000$

об/хв; подача $S_0 = 0,1$ мм/об. Дані режими різання рекомендовані виробником інструментального матеріалу при обробці ним, армованих композиційних матеріалів.

Спрощена кінематика процесу обробки різьби а АКМ виглядає наступним чином, різальному інструменту надають прямолінійний рух уздовж осі заготовки, як ріжучий інструмент використовують однозубий інструмент з гострим кутом заточування (рис. 6), а діаметр траєкторії формотворної точки $d_{\phi-m}$, рівний сумі внутрішнього діаметра D_1 різьби, та глибини профілю різьби t (рис. 2), встановлюють за рахунок розточувального пристрою (показаний на рисунку 6), при цьому інструменту надають обертання відносно власної осі і додатково повідомляють йому коловий рух навколо осі заготовки, що узгоджений з його прямолінійним рухом таким чином, що за один коловий рух, інструменту повідомляють прямолінійний рух уздовж осі заготовки, величина якого дорівнює кроку p різьби, причому діаметр колового руху дорівнює глибині профілю різьби t , крім того вісь заготовки розташовують паралельно по відношенню до осі обертання інструменту.

Величина діаметра траєкторії формотворної точки $d_{\phi-m}$, (рис. 6, а) для обробки круглї різьби визначається за формулою 1:

$$d_{\phi-m} = D_1 - t \quad (1)$$

де D_1 – внутрішній діаметр різьби, мм;
 t – глибина профілю різьби, мм.

Обробка круглї різьби виконується з однієї установки заготовки внутрішній діаметр можна не виконувати, фаску також не потрібно виконувати. Для даного способу не обов'язковим є також виконання канавки для виходу однозубого інструменту.

Для перевірки на практиці, запропонованої технології формоутворення різанням гвинтової поверхні в деталях з АКМ, було виконано декілька пробних експериментів. Виготовлялася круглї різьба з основними параметрами $p=4$ мм, $t=1$ мм, дана різьба нарізувалася на діаметрі 5 мм, згідно технології описаній вище. Дані експерименти дозволили встановити можливість виготовлення вказаної різьби даною технологією, для проведення подальших експериментів.

Висновки

У результаті проведеного експериментального дослідження, була встановлена можливість виготовлення якісно нового роз'ємного з'єднання для деталей з армованими композиційних матеріалів. На основі раніше відомого способу обробки [4] була розроблена технологія виготовлення представленого з'єднання.

Реалізована технологія формоутворення круглї внутрішньої різьби методом огинання, за рахунок врахування всіх особливостей механічної обробки армованих композитів, та виготовлення однозубого інструменту з особливо малозернистого твердого сплаву K55SF методом ручного заточування із циліндру діаметром 6мм.

Список літератури:

1. Рих Кристер Новый виток развития обработки композитов / Кристер Рих// METALWORKING WORLD. Деловой и технический журнал от SANDVIK COROMANT .– 2010. – № 1. – С.12-13.
2. Артюхин Ю. П. Напряжения в клеевых соединениях / Ю. П. Артюхин // Исследования по теории пластин и оболочек. – Киев: Изд-во Киев. гос. ун-та, 1973. – Вып. 10. – С. 3 - 27.
3. Baker A. A. Composite Materials for Aircraft Structures / A. A. Baker. // – Eurospan, 2004. – 400 p.
4. Пат. UA 103734. Спосіб обробки круглї внутрішньої різьби/ Некрасов С.С., Криворучко Д. В., Нешта А.О. МПК B23C 3/32 (2006.01), B23B 1/00. - No a201214037 заявл. 10.12.2012; 11.11.2013, бюл. No 21.
5. Durao L. M. Machining of hybrid composites :Ph.D.dissertation/L.M.Durao. –Porto, 2005. – 242p. 6.
6. Карпов Я. С. Соединения высоконагруженных деталей из композиционных материалов. Сообщ. 1.Конструктивно-технологические решения и оценка их работоспособности / Я. С. Карпов // Пробл. прочности. – 2006. – № 3. – С. 23 – 33.
7. Воробей В. В. Соединения конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О. С. Сироткин. – Л.: Машиностроение, 1985. – 168 с.
8. Карпов Я. С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов / Я. С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 359 с.
9. Сироткин О. С. Технология и механика соединений / О. С. Сироткин, В. Б. Литвинов, В. И. Гришин. – М.: Арктика, 2000. – 314 с.
10. Niu M. C. Composite Airframe structures / M. C. Niu. – Hong Kong : Conmilit Press Ltd., 1992. – 686 p.
11. Матвиенко В. А. Анализ современного уровня и перспектив конструктивно-технологического совершенствования соединений полимерных композиционных материалов / В. А. Матвиенко // Материалы совещания – М.: НИАТ, 1986. – с. 3– 12.
12. Richard Zemmann Manufacturing of threads direct into a carbon fibre reinforced polymer / Zemmann Richard // Vienna University of Technology (TU Wien), Institute for Production Engineering and Laser Technology, Landstraßer Hauptstraße 152, 1030 Vienna, AUSTRIA.
13. Некрасов, С. С. Способы обработки круглї різьби [Текст] / С. С. Некрасов, Д. В. Криворучко, А. А. Нешта // Оборудование и инструмент для профессионалов: Металлообработка. -2013. - № 4. - С. 86-88.
14. Ершов Е. М. Изготовление резьб на деталях из стеклопластика / Е. М. Ершов, А. П. Мордвин. – М. : Машиностроение, 1969. – 128 с.
15. Сайт заводу виробника металоріжучого інструменту «Sandvik Coromant» [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://clck.ru/FcyiF> (20.01.2018)

16. Рычков Д. А. Формирование режущей кромки фрезерного инструмента для обработки слоистых композиционных материалов, армированных стеклянными волокнами / Д. А. Рычков, В. А. Скрипняк, А. С. Янюшкин, Д. В. Лобанов // Системы. Методы. Технологии. № 2(22). 2014. С. 42-46.

17. Буланов И. М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов / И. М. Буланов, В. В. Воробей. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1998. – 518с.

18. Сайт компанії виробника металоріжучого інструменту «Guhring» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://clck.ru/FcyoR> (18.05.2018)

Karachun V.V

*doctor of technical sciences, professor,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

Mel'nik V.N.

*doctor of technical sciences, professor,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

Boyko G.V.

*candidate of technical sciences
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute*

ANALYSIS OF HYPERSONIC DISPLACEMENT MEANS AND THE PROBLEM OF INERTIAL NAVIGATION

Karachun B.V.

*доктор технических наук, профессор кафедры биотехники и инженерии
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,*

Мельник В.Н.

*доктор технических наук, профессор биотехники и инженерии,
Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”*

Бойко Г.В.

*кандидат технических наук, ученый секретарь отдела ученого секретаря,
Национальный технический университет Украины
“Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”*

АНАЛИЗ ГИПЕРЗВУКОВЫХ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Summary: The analysis of the modern rates of development of hypersonic technologies for means of launching spacecraft into suborbital and near-earth orbits, as well as for unmanned weapon systems, combining both strike quality and intelligence functions. With a view to a deeper understanding of the strategic importance of technologies based on direct-flow air-jet engines, the striking imagination of the achievements of aerospace technology with an eye to some important milestones in its history is highlighted in fragments. The design schemes for the influence of a penetrating ultrasonic beam on inertial navigation devices, in particular, in a multiphase, float, version, are constructed. The danger of the occurrence of local features of the gyroscope suspension at the resonance level of wave coincidence due to diffraction phenomena is revealed.

Аннотация: Проводится анализ современных темпов развития гиперзвуковых технологий для средств выведения космических аппаратов на суборбитальные и околоземные орбиты, а также для беспилотных систем вооружения, сочетающих в себе как ударные качества, так и разведывательные функции. С целью более глубокого осознания стратегической важности технологий на базе прямоточных воздушно-реактивных двигателей, фрагментарно освещается поражающий воображение путь достижений авиационно-космической техники с оглядкой на некоторые важные вехи истории ее становления. Строятся расчетные схемы влияния проникающего ультразвукового луча на приборы инерциальной навигации, в частности, в многофазном, поплавковом, исполнении. Раскрывается опасность возникновения локальных особенностей подвеса гироскопа на резонансном уровне волнового совпадения вследствие дифракционных явлений.

Введение

Приоткроем завесу мрака и тьмы забвения нашей памяти... Восстановим наиболее впечатляющие вехи истории освоения суборбитальных TERRA-высот и ближнего космоса.

Любой человеческой деятельности присущи периоды наивысшего расцвета, называемые ЗОЛОТЫМ ВЕКОМ. Он характеризуется пиком

достигнутых результатов, либо, наоборот, быстрым развитием. Так, ЗОЛОТЫМ ВЕКОМ искусства стала продолжительная эпоха Возрождения, впитавшая наивысшие достижения античной и средневековой культуры. С космонавтикой все произошло несколько иначе. Ее ЗОЛОТОЙ ВЕК был немного быстротечнее, но, вместе с тем, и более ярким.

Начался он с запуска Первого искусственного спутника. Этот феномен был продуктом уникальных достижений прикладной математики и небесной механики, ракетостроения и авиации, материаловедения и термодинамики, радиоэлектроники и связи, нашедшими свое выражение в создании ракетно-ядерного оружия. Инженеры и ученые, прошедшие Вторую мировую войну, очевидно, рассматривали эту работу как вклад в сохранение пусть хрупкого, но мира. И вполне сознавали, что создаваемое оружие может со временем стать также и средством проникновения в дальний космос. До момента появления ракет-носителей и космических аппаратов оставался один лишь шаг...

Увы, бурное и стремительное развитие космонавтики продолжалось сравнительно недолго. Соревнование на пике возможностей не могло длиться бесконечно. Примерно к 1985 году были сформулированы и реализованы все известные на сегодня виды космической деятельности. Это связь, навигация, разведка и дистанционное зондирование, научные исследования, межпланетные миссии и, конечно, пилотируемые полеты. Оформились и оптимизировались технические решения, к которым разработчики возвращаются и поныне. К примеру, форма командного модуля Apollo считается классической и копируется в новейших проектах пилотируемых аппаратов, таких как Orion или CST-100. Более того, ряд образцов техники, созданных в ту эпоху (к примеру, корабль Союз и одноименная ракета), успешно эксплуатируется и поныне.

ЗОЛОТОЙ ВЕК – это эпоха высочайших достижений. В данном случае именно в эти годы произошли самые яркие и запоминающиеся события, оставившие неизгладимый след в истории цивилизации. Первый спутник, первые лунные и межпланетные зонды, первый пилотируемый полет, высадка на Луну, создание орбитальных станций и реализация первой в истории многоразовой транспортной космической системы.

1. Средства выведения летательных аппаратов на суборбитальные и околоземные орбиты

В настоящее время, в странах с развитой ракетно-космической индустрией все большее внимание уделяется созданию перспективных средств выведения космических аппаратов (КА) на требуемые траектории, в частности, разработке двухступенчатых авиационно-космических систем (АКС). Роль первой ступени в системах воздушного базирования выполняет дозвуковой самолет-носитель (СН), создающий необходимые динамические предпосылки для старта второй ступени (ВС) с космическим аппаратом целевого назначения на борту [1]. Вторая ступень реализуется либо ракетой-носителем, либо орбитальным самолетом. В некоторых случаях используются грузовые блоки выведения.

Полномасштабное освоение космического пространства предусматривает решение трех основных задач: осуществление межорбитальных околоземных перелетов, включая доведение КА с опорной на более высокие орбиты, вплоть до геостационарных; коррекция орбиты и энергоснабжение больших орбитальных станций типа Международной Космической Станции (МКС); выведение

КА на отлетные траектории, а также на орбиты для полета к планетам *Солнечной системы*.

В плане решаемой проблемы, самым уязвимым элементом конструкции РН к постоянно изменяющимся требованиям пусковых услуг является головной аэродинамический обтекатель (ГАО), в подобтекательном пространстве (ПП) которого размещается космический аппарат (КА). Происходящие динамические изменения в спектре КА, планируемых для выведения, приводят к тому, что, с одной стороны, увеличиваются абсолютные значения массы КА, вплотную приближаясь к нижней границе возможностей РН тяжелого класса, а с другой – повышается удельный вес задач по доставке КА на высокие орбиты.

Практическая космонавтика Украины предусматривает использование для решения этих задач ракет-носителей класса ДНЕПР и ЗЕНИТ – 2.

История развития воздушно-космических систем и воздушно-космических самолетов [2] ведет свой отсчет от бомбардировщика-антипода Еугена Зингера (Германия), первая половина XX столетия. Германские разработки нашли продолжение в полетах американского X-1 проектами создания множества одно- и двухступенчатых воздушно-космических систем [3]. На время создания *Шаттла*, определенные успехи уже имелись и в СССР в рамках проекта “Спираль” [4]. Осуществлялись летные испытания уменьшенных макетов в виде беспилотного орбитального ракетоплана (аппараты БОР), наконец, был создан *Буран*, который можно с полным правом отнести к престижным и крайне необходимым исследовательским проектам. Так же, как и *ШАТТЛ*, он еще не был полноценным и, тем более, рентабельным летательным аппаратом. Вместе с тем, убедительно продемонстрировал незаурядные возможности автоматически управляемого движения и посадки. На нем было также выполнено теплозащитное покрытие будущих космических кораблей.

Во всех странах, которые изготавливают ракетно-космическую технику, на основе многолетних достижений проектирования воздушно-космических систем рождается бесконечное множество проектов. Лидируют здесь США,

Германия, Япония [5] и Индия [6]. Эти страны отказались от проектов предыдущих лет в виде 200–300-тонных космических бомбардировщиков и переориентировались на малогабаритные аппараты.

Время выделило свои приоритеты в создании воздушно-космических ЛА. Опыт эксплуатации *ШАТТЛОВ* диктует необходимость создания беспилотных систем. Установлено, что использование сжиженных газов для топлива увеличивает массу летательного аппарата, одновременно усложняя условия эксплуатации. Поэтому отдается предпочтение использованию опыта оптимальных разработок, которые выполнялись для военного использования. Несомненно насущным представляется поиск экологически безопасных аналогов двигателей военного назначения.

Воздушно-космическая система не требует стартовых площадок на космодромах, потому что может осуществлять старт с борта самолета, кото-

рый взлетает с аэродрома, либо с какой-либо площадки мобильного базирования. Воздушно-космическая система в Украине может и должна создаваться, опираясь на современные технологии и, в то же время, с использованием ранее апробированных технических решений в сфере конструирования отдельных средств баллистических ракет. Целесообразно опираться на опыт изготовления ампулизованных жидкостных двигателей с массой, близкой к массе самолетов-истребителей. Они, к тому же, могут выполнять функции *маршевых*. Необходимо обратить внимание на отработанные технологии изготовления уголь-углеродных конструкций,

нанесения покрытий и т. п. Имеет смысл приобщать к решению текущих проблем имеющиеся достижения проектирования, изготовления и испытания конструкций ракет и самолетов к современным технологиям, использовать опыт авиационной промышленности, в частности, в двигателестроении.

В пятницу, 22 января 2016 г., частная космическая компания **BLUE ORIGIN** осуществила исторический тестовый запуск ракеты-носителя с кораблем *NEW SHEPARD*. В полет отправилась та же ракета, которая 23 ноября 2015 г. смогла взлететь, набрать высоту *100,5 км*, а затем мягко приземлиться на тяге ракетных двигателей (рис. 1).

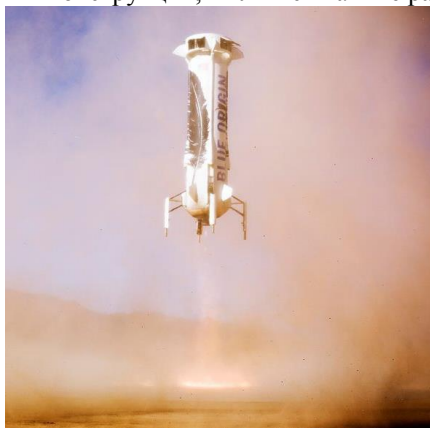


Рис. 1. Ракета BLUE ORIGIN

первой смогла взлететь во второй раз и успешно приземлиться на ракетной тяге

В новом полете, та же ракета достигла суборбитальной высоты *101,7 км*, сбросила капсулу космического корабля *NEW SHEPARD*, после чего приземлилась на стартовую площадку. *NEW SHEPARD* также успешно опустился на *Землю* с помощью парашютов. Таким образом, **BLUE ORIGIN** продемонстрировала возможность повторного использования первых ступеней ракет-носителей.

Компания **SPACE X** 21 декабря 2015 г. также успешно осуществила управляемую посадку первой ступени ракеты-носителя *FALCON 9*, причем это был коммерческий космический запуск с выводом спутника на заданную орбиту. В то же время, **BLUE ORIGIN** пока тестирует возвращаемую ракету в суборбитальных полетах.

Первые успешные посадки ракет-носителей, без преувеличения, может рассматриваться как выдающееся историческое событие, поскольку стоимость одноразовой ракеты является основной статьей расходов при современных космических запусках. Пока компании не решаются озвучить стоимость повторных запусков, но ранее, основатель **SPACE X** Илон Маск заявлял, что повторное использование ракеты позволяет уменьшить расходы на запуск, по крайней мере, в сотню раз. Такое радикальное сокращение стоимости пусков станет началом по-настоящему масштабного освоения космоса. Основатели частных космических Компаний мечтают о миллионах людей, работающих вне пределов *TERRA*-пространства.

Кроме того, огромное значение имеет отработка технологий вертикального спуска на тяге ракетных двигателей. Как показывает практика, парашюты — это слишком громоздкий, ненадежный и недостаточно гибкая технология возвращения из

космоса. Ракета, или корабль на ракетной тяге, могут приземляться с точностью до нескольких метров, маневрировать, снижать перегрузки при посадке до околонулевых значений. Опять таки, только с помощью ракетной тяги можно безопасно посадить космические корабли на небесные тела, не имеющие собственной атмосферы, а также на планеты с разреженной атмосферой, например, *Mars*. В будущем, технологии, которые сегодня апробируют частные космические Компании, могут стать основой больших многоразовых кораблей на основе использования дешевого топлива, получаемого из местных ресурсов других планет.

Частная космонавтика, похоже, начинает понемногу опережать государственную космонавтику в существующей гонке. Для доставки людей на орбиту, космические агентства уже отдают предпочтение и, в основном, ориентируются на частных. Первым сделало ставку на коммерческий космический транспорт **НАСА**, теперь к американскому агентству присоединились и европейцы. В ближайшие недели Европейское Космическое Агентство (**EКА**) подпишет контракт с Компанией **SIERRA NEVADA**, которая разрабатывает многоразовый челнок *DREAM CHASER* для полетов в околоземном пространстве. Европейское Космическое Агентство уже инвестирует в проект *\$36 млн* и планирует в дальнейшем широко использовать челноки частной компании для решения задач совершенствования технологий в условиях микрогравитации, а также для отработки практических перелетов к Международным Космическим Системам [7].

2 Беспилотные аппараты. Планирующие средства доставки полезного груза

Для защиты территориальных рубежей государств и прилегающей акватории в настоящее время служат баллистические, межконтинентальные и космические ракеты различного класса и средств базирования, атомный подводный флот и ракетные войска стратегического назначения.

Движением баллистических ракет (БР) в режиме поиска цели и наведения на цель осуществляется с помощью инерциальных или радиоинерциальных систем. Наиболее надежными следует считать первые, поскольку только они обладают решающим достоинством – *автономностью*. Это качество позволяет реализовывать одновременный запуск большого количества ракет, обеспечивает достаточную степень независимости стартовых позиций и, кроме того, поддерживает высокую боеготовность, а также надежность находящихся на боевом дежурстве средств тактической палубной авиации (ТПА), стратегической бомбардировочной авиации (СБА), корабельных зенитных ракетных комплексов (например, класса *ФОРТ* с 64 ракетами С-300), находящихся на вооружении крейсеров с газотурбинным двигателем ракетных установок класса *БАЗАЛЬТ* с крылатыми ракетами П-500 (сверхточная стрельба в радиусе 500 км), а также беспилотных летательных аппаратов (автономных роботов), обладающих свободой передвижения, роботов-саперов (*Mini-Andros*), наконец, дистанционно управляемых аппаратов. Для задач *военной разведки*, разминирования акватории, поражения живой силы в зоне военных конфликтов и др. все большее применение находят роботы.

Нельзя оставить без внимания также *новый тип оружия* на основе БПЛА – *беспилотники-камикадзе*. Компания **MBDA** представила оружие, разработанное в соответствии с концепцией развития перспективных беспилотных систем вооружения, сочетающих в себе как ударные, так и разведывательные функции. Эти образцы поступят в серийное производство в течение ближайших 20 лет. Аналитики утверждают, что *беспилотники-камикадзе* во многом сформируют облик войн будущего.

В настоящее время разработаны боеприпасы для БПЛА, действующих со средних высот – *MALE*.

Такие аппараты со временем станут основой огневой поддержки сухопутных войск и смогут обеспечить молниеносное нанесение ударов, частично отодвинув на задний план артиллерию и тяжелые реактивные *пилотируемые* истребители.

Так, оружие *Vigilus* включает в себя пульт управления системой, боекомплект и пусковую установку *Armatus*, способную сочетать различные комбинации малых, средних и крупных боеприпасов. Пусковая установка оснащена беспроводной системой передачи информации, что существенно расширяет возможности использования системы *VIGILUS*. Система *VIGILUS* представляет собой новое поколение оружия, которое обеспечивает обнаружение и идентификацию *цели* с помощью лишь одной платформы и, в тоже время, в кратчайшие сроки [8, 9].

Самое главное – беспилотники находятся в воздухе намного дольше, чем любой *пилотируемый* самолет (ведь операторы могут работать по-сменному). Это значит, что с точки зрения тактики боя, над противником непрерывно находится и неусыпно следит за ним “*недремлющее око*” беспилотной машины. Таким образом, за один только вылет, например, *MQ-9 REAPER* может поразить больше *целей*, чем, например, *A-10C*. Особенно в условиях асимметричной войны, когда противника необходимо выслеживать на протяжении длительного времени. Эта машина отлично зарекомендовала себя не только во время боевых действий в *Ираке* и *Афганистане*, но и в охоте за террористами по всему миру.

Принято считать, что во время “настоящей”, а не партизанской войны, беспилотники посылаются на землю после нажатия “волшебной” кнопки станции радиоэлектронной борьбы РЭБ. На самом же деле, боевые БПЛА лишь частично подвержены помехам сигналу *GPS*. Связь с БПЛА осуществляется по спутниковому каналу, а его подавить сложно. Наконец, в случае потери сигнала *GPS*, беспилотник продолжит выполнять свою миссию, или вернется на базу, но только под непосредственным управлением оператора.

Таким образом, большие и средние БПЛА все острее и настойчивей требуют современных технологий спутниковой связи (рис. 2).



Рис. 2. Большие и средние БПЛА требуют совершенных технологий спутниковой связи

С этой целью, беспилотники подключаются к системам автоматизированного планирования и поддержки миссий BBC (AFMSS) путем подключения к тактической линии связи, например, L-3, а в перспективе – к единой автоматизированной сети *Heterogeneous Air borne Reconnaissance Team* (HART). Все эти технологии сделают БПЛА достаточно устойчивыми против электронных средств борьбы.

3. Глобальные и региональные навигационные системы

В последние годы наблюдается стремительный рост мирового рынка навигаторов. Они находят применение при решении задач управления движением в авиации и ракетостроении, на морском транспорте, в геодезии и картографии, при позиционировании сухопутных боевых средств, а также наземного транспорта, включая личный автотранспорт.

Система *GPS* (*Global Positioning System*) создавалась для применения только в военных целях. Она начала работать в конце 80-х — начале 90-х годов, однако до 2000 года искусственные ограничения на определение местоположения существенно сдерживали возможности ее использования в гражданских целях [10].

После отмены ограничений на точность определения координат, ошибка снизилась со 100 до 20 м (в последних поколениях *GPS*-приёмников при идеальных условиях ошибка уже не превышает 2 м). Такие условия позволили использовать систему для широкого круга общих и специальных задач:

- определение точного местоположения;
- навигация, движение по маршруту с привязкой к карте на основании реального местоположения;
- синхронизация времени.

Российский аналог *GPS* — *ГЛОНАСС* (глобальная навигационная спутниковая система) — была развёрнута в 1995 году, но в связи с недостаточным финансированием и малым сроком службы спутников она не получила широкого распространения. Вторым рождением системы можно считать 2001 год, когда была принята целевая программа ее развития, благодаря которой *ГЛОНАСС* возобновила полноценную работу в 2010 году.

В настоящее время на орбите работают 24 спутника *ГЛОНАСС*, они охватывают навигационным сигналом весь земной шар.

Сейчас, на стадии разработки находятся еще две спутниковые системы – европейская *GALILEO* и китайская *COMPASS*.

GALILEO — совместный проект Европейского союза и Европейского Космического Агентства, анонсированный в 2002 году. Изначально предполагалось, что уже в 2010 году, в рамках этой си-

стемы, на средней околоземной орбите будут работать 30 спутников. Но этот план не был реализован. Впоследствии, датой начала эксплуатации *GALILEO* определили 2014 год. Окончательно ожидается, что полнофункциональное использование системы начнется не ранее 2020 года.

COMPASS - это следующая ступень развития китайской региональной навигационной системы *BEIDOU*, которая была введена в эксплуатацию после запуска 10 спутников в конце 2011 года. Сейчас она обеспечивает покрытие в границах Азии и Тихоокеанского региона, но, как ожидается, к 2020 году система перерастет в глобальную.

Smart Antenna — модуль, состоящий из керамической антенны и навигационного приемника. Преимущества: компактность, отсутствие необходимости согласования, удешевление разработки за счет сокращения сроков изготовления.

MCM (Multi Chip Module) — чип, включающий все компоненты навигационного приемника.

OEM — экранированная плата, включающая ВЧ интерфейсный процессор и процессор частот основной полосы (RF-frontend + baseband), SAW-фильтры и обвязку. Это наиболее популярное решение на данный момент.

Точность определения местоположения объекта по *GPS* составляет в среднем 15 м, она является следствием использования неточных сигналов, влиянием атмосферных условий на распространение радиосигнала, качеством кварцевых генераторов в приемниках и пр. Однако, с помощью методов коррекции, представляется возможным улучшение точности определения местоположения объекта. Эта технология называется *Differential GPS*. Существует два метода коррекции: наземный и спутниковый *DGPS*.

В наземных методах коррекции, наземные станции дифференциальных поправок постоянно сверяют свое заведомо известное местоположение с сигналами навигационных спутников. На базе этой информации вычисляются корректирующие величины, которые могут быть переданы с помощью УКВ- или ДВ-передатчика на мобильные *DGPS*-приемники в формате RTCM. На основании полученной информации потребитель может корректировать процесс определения собственного местоположения. Точность этого метода составляет 1-3 метра и зависит от расстояния до передатчика корректирующей информации и качества сигнала.

Спутниковые методы, такие как система WAAS (Wide Area Augmentation System) (рис. 3), доступная в Северной Америке, и система EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), доступная в Европе, шлют корректирующие данные с геостационарных спутников, таким образом, достигается большая область приема, чем при наземных методах (рис. 4).

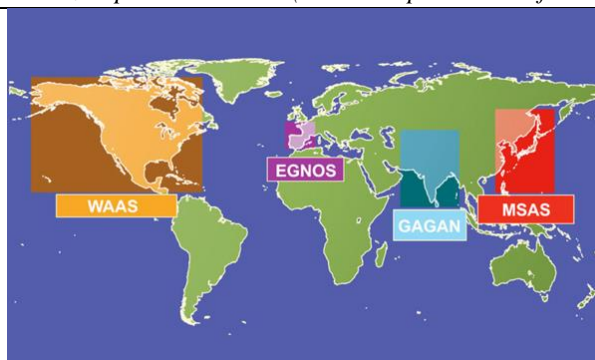


Рис. 3. Демонстрация принципа работы функции навигационных устройств

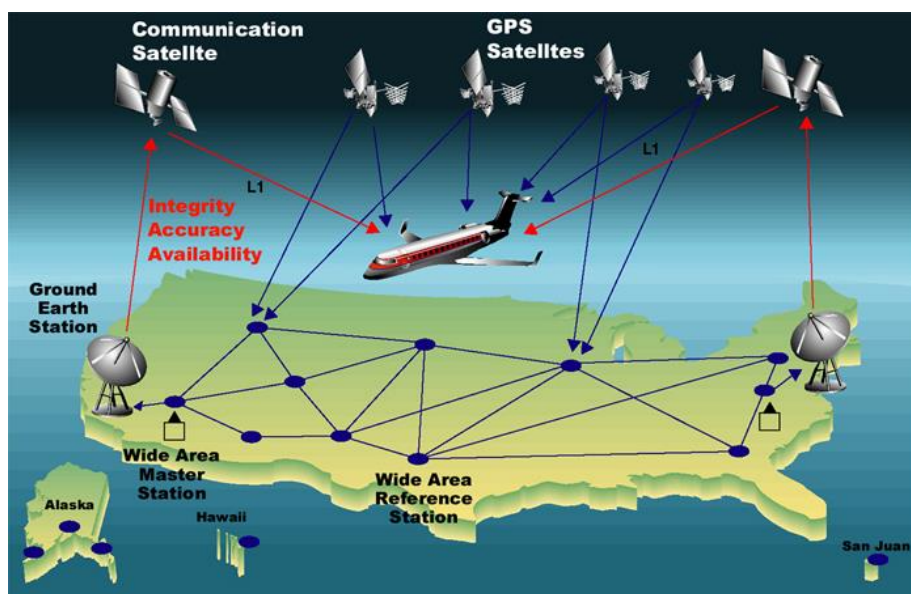


Рис. 4. Дополнительные системы WAAS (Wide Area Augmentation System) на территории США

Спутниковые системы дифференциальной коррекции (SBAS — Space Based Augmentation Systems) позволяют улучшить точность, надежность и доступность навигационной системы за счет интеграции внешних данных в процессе расчета.

Одним из основных параметров, влияющих на точность определения местоположения и стабильность приема, является чувствительность. Она, как правило, определяется качеством малошумящего усилителя на входе приемника и сложностью реализованных алгоритмов цифровой обработки.

Кроме определения местоположения ГНСС предоставляют информацию о точном времени. Как правило, все приемники имеют выход PPS (pulse per second, импульсов в секунду) — секундная метка (1 Гц), которая точно синхронизирована с временной шкалой UTC.

Надо полагать, имеющимися и разворачиваемыми сегодня системами позиционирования дело не ограничится. Над собственными региональными системами геопозиционирования сегодня уже работает ряд государств, например, таких как *Китай* и *Индия*.

4. Гиперзвуковые средства нападения и внешней разведки

Аналитики и специалисты утверждают, что страна, которая сможет первой в мире обеспечить

серийное производство высокоточных гиперзвуковых ракет, создаст, тем самым, для себя серьезное военное преимущество в мире. Прежде всего, в стратегическом масштабе. Объяснение этому состоит в том, что ракеты, летящие со скоростью 7 М практически неуязвимы для современных средств противовоздушной обороны (ПВО), сами же способны уничтожать защищенные по последнему слову техники как наземные, так и подводные объекты. По своему потенциалу, гиперзвуковое оружие сравнимо только с тактическими ядерными боеприпасами [11].

Россия и *Индия* в настоящее время уже тестируют совместно разработанную сверхзвуковую крылатую ракету *BRAHMOS*, которая летит со скоростью в два раза превышающей скорость звука. В завершающей фазе находится также новая ее модификация - *BRAHMOS - 2*, которая будет гиперзвуковой и достигнет скорости 7 М. Подобного оружия пока не существует ни в одной стране мира. Эта ракета может стартовать с морской, наземной и воздушной платформ.

В качестве альтернативы баллистическим ракетам, *США* разрабатывают гиперзвуковые летательные аппараты (ГЗЛА) в виде крылатой ракеты, т.е. с собственным двигателем, обычно ГПВРД, или в виде планирующего снаряда, гиперзвуковую скорость которому сообщают маршевые ступени

обычных баллистических ракет. Так, разрабатываемая ныне в США противоракета SM-3 BLOCK II чаще всего упоминается в связи с модернизацией американской ПРО (рис. 5). Она, подобно предыдущим модификациям SM-3, будет принята на вооружение системы ПРО морского базирования Aegis.

Особенностью BLOCK II является заявленная способность перехвата на определенном участке траектории межконтинентальных баллистических ракет, что послужит основанием для включения системы Aegis в состав стратегической противоракетной обороны США.



Рис. 5. Противоракета SM-3 BLOCK II: а) SM-3 на площадке; б) – момент старта

Американские военные объявили в 2010 году, что на базе SM-3 BLOCK II будет также создана ударная система большой дальности под кодовым названием *Are Light*. Предполагается, что маршевые ступени противоракеты выведут на гиперзвуковую скорость *планирующий аппарат*, который способен пролететь до 600 км и доставить к цели боеголовку массой 50-100 кг. Общая дальность полета всей системы составит 3800 км, причем на участке самостоятельного движения гиперзвуковой планер полетит не по баллистической траектории, что создаст возможность маневрирования с целью обеспечения точного наведения на объект поражения. Настоящей изюминкой проекта можно считать ту особенность, что благодаря унификации с SM-3, ракетная система *Are Light* сможет размещаться в тех же вертикальных пусковых установках, которые предназначены для противоракет. Таких “гнезд” в распоряжении ВМС США насчитывается около 8500.

Еще в 2003 году главный “мозговой центр” американской оборонной промышленности – агентство DARPA, совместно с BBC США, объявили программу FALCON. В переводе с английского, это слово означает “сокол” и, к тому же, является аббревиатурой самого названия программы, дословно расшифровывающейся как “Приложение силы при запуске с континентальной части территории США”.

Программа предусматривала разработку не только разгонных ступеней, но также и разработку гиперзвукового планера в интересах GLOBAL PROMPT STRIKE. Частью этой программы было

создание беспилотного самолета HTV-3X на гиперзвуковых прямоточных двигателях.

Планер *Hypersonic Technology Vehicle-2 (HTV-2)*, имеющий вид разрезанного по длине конуса, в апреле 2010 года прошел летные испытания с помощью носителя MINOTAUR IV и достиг вполне гиперзвуковой скорости в 20 Махов.

В 2011 году аппарат *Advanced Hypersonic Weapon (AHW)*, в чем-то схожий с HTV-2, успешно стартовал в составе трехступенчатой разгонной системы с пусковой площадки на острове *Kauii Гавайского архипелага* и достиг испытательного полигона им. Рейгана на атолле *Кваджелейн*.

Американские конструкторы параллельно идеологии гиперзвукового планера стали осуществлять разработку гиперзвуковых крылатых ракет – самодвижущихся аппаратов. Разработанная корпорацией BOEING, ракета X-51 под названием *WAVERIDER* (“оседлавшая волну”), благодаря своей конструкции может использовать для получения дополнительной подъемной силы энергию ударных волн гиперзвукового полета.

Гиперзвуковой полет на скорости 20 М позволяет доставить полезный груз в течение одного часа в любую точку планеты. Кроме того, исчезает необходимость использования неядерных баллистических ракет, пуск которых может спровоцировать ответный ядерный удар, да, к тому же, обнаруживается с достаточно большого расстояния.

Гиперзвуковые средства нападения и внешней разведки имеют более пологую траекторию движения, а также обладают способностью появляться в воздушном пространстве противника неожиданно,

что разрешает эффективно преодолевать любую систему ПВО (рис. 6). В рамках программы ИН намечены масштабные исследования гиперзвуковых технологий по пяти магистральным направлениям

– системы теплозащиты, аэродинамика, наведение, навигация и управление движением; оборудование и двигатели.



Рис. 6. Экспериментальная гиперзвуковая ракета с ГПВРД X-51A Waverider (США)

При скорости 20 М самолет НХ нагреется до температуры превышающей 2000 °С. Это соответствует температуре в горниле доменной печи. Таким образом, проблемы с нагревом и последующим разрушением обшивки весьма актуальны и являются основной причиной многих неудачных испытаний гиперзвуковой ракеты X-51 и гиперзвукового бомбардировщика HTV-2.

На сегодняшний день эффективным средством борьбы с перегревом конструкции в космонавтике, ракетостроении и навигации является АБЛЯЦИЯ (от лат. Ablation – отнятие). Это способ эффективного снижения перегрева конструктивных элементов фюзеляжа, обтекателей или двигателя набегающим потоком или реактивным (тепловым) факелом за счет отбора теплоты на плавление (или испарение), а может и на прямую возгонку слоя специального защитного материала.

Более полувека назад, в разгар холодной войны, крылатые ракеты вчистую проиграли баллистическим на поле стратегического оружия дальнего радиуса действия. И все же, в грядущих конфликтах по-видимому, главным аргументом станет не баллистическая “дубина”, а стремительный и коварный “крылатый кинжал”.

5. Возникновение дополнительных погрешностей инерциальных систем бортовой аппаратуры.

Анализ погрешностей измерений проведем с позиций совместного, одновременного воздействия двух возмущающих факторов – кинематического и проникающего акустического излучения высокого уровня – 150 дБ и выше. Конкретизируем вначале содержание и природу проявления первого [12, 13], а затем и второго [14, 15], внешнего возмущений. Начнем с того, что это должны быть не только все время присутствующие факторы, но и типичные для целого класса изделий – летательные аппараты управляемые, беспилотные летательные аппараты, дистанционно управляемые, дискокрылые аппараты, тактическая палубная авиация (ТПА), стратегическая бомбардировочная авиация (СБА), крылатые ракеты различной модификации и средств базирования.

Оставляя в стороне вопрос особенностей этого движения для аппаратов различного класса, остановимся на наиболее сложном из имеющихся – на угловом движении корпуса ЛА.

Свяжем с корпусом систему координат $Ox_1y_1z_1$, причем ось Ox_1 направим вдоль его продольной оси, а оси Oy_1 и Oz_1 расположим в плоскости шпангоута (рис. 7).

В качестве опорной системы координат выберем тройку осей, связанных с Землей: ось $O\xi$ направим вертикально вниз, ось $O\xi$ – расположим в горизонтальной плоскости, например, совместим с линией заданного курса, третью ось, ось $O\eta$, направим перпендикулярно первым двум.

Пусть, в момент старта летательный аппарат занимает произвольное положение. Проведем через его центр масс плоскость, перпендикулярную продольной оси (плоскость шпангоута) до пересечения с горизонтальной плоскостью $O\xi\eta$. По линии пересечения этих плоскостей, обозначим ее ON , направим ось $O\eta_1$ и построим в горизонтальной плоскости ось $O\xi_1$, перпендикулярную $O\eta_1$.

В качестве углов Эйлера выберем угол поворота вокруг вертикали горизонтальной координатной плоскости $O\xi\eta$ до совпадения ее с осями $O\xi_1\eta_1$. Этот угол назовем углом рыскания φ .

Угол поворота вокруг линии узлов координатной плоскости $\xi_1O\xi$ до совмещения оси $O\xi_1$ с продольной осью ракеты-носителя Ox назовем углом тангажа и обозначим буквой ψ . В этом случае ось $O\xi$ займет положение $O\xi_1$ в плоскости шпангоута.

Наконец, угол поворота плоскости $\eta_1O\xi_1$ вокруг продольной оси аппарата Ox назовем углом крена и обозначим буквой θ .

Соответствующие принятой последовательности поворотов угловые скорости будут направлены

по вертикали ($\vec{\dot{\varphi}}$), по линии узлов ($\vec{\dot{\psi}}$) и вдоль оси ЛА ($\vec{\dot{\theta}}$) (рис. 7).

В том случае, когда аппарат стартует с неподвижного основания, т.е. оси $O\xi\eta\zeta$ неподвижны, проекции угловой скорости на оси $Ox_1y_1z_1$ связанные с корпусом ЛА составляют:

$$\begin{aligned}\omega_{x_1} &= \dot{\theta} - \dot{\varphi} \sin \psi; \\ \omega_{y_1} &= \dot{\varphi} \sin \theta \cos \psi + \dot{\psi} \cos \theta; \\ \omega_{z_1} &= \dot{\varphi} \cos \theta \cos \psi - \dot{\psi} \sin \theta.\end{aligned}\quad (1)$$

Проекция угловой скорости на оси $Oxyz$, связанные с поплавковым подвесом, определяются соотношениями (рис. 8):

$$\begin{aligned}\omega_x &= \omega_{x_1} \cos \beta + \omega_{y_1} \sin \beta; \\ \omega_y &= -\omega_{x_1} \sin \beta + \omega_{y_1} \cos \beta; \\ \omega_z &= \omega_{z_1} + \dot{\beta},\end{aligned}\quad (2)$$

причем

$$\theta = \theta(t), \quad \psi = \psi(t), \quad \varphi = \varphi(t).$$



Рис. 7. Схема углов Эйлера

Если же старт осуществляется с орбитальной ступени, либо с площадки мобильного базирования, следует ее угловую скорость предварительно разложить по осям $O\xi\eta\zeta$. В равной степени это относится к угловой скорости суточного вращения Земли.

В дальнейшем будем считать угол $\theta(t)$, а также производные по времени $\dot{\theta}(t)$ и $\dot{\varphi}(t)$ малыми величинами. Угловую скорость $\dot{\psi}$ представим в виде

$$\dot{\psi} = \omega_0 + \omega_y,$$

где ω_0 – постоянная величина, измеряемая дифференцирующим гироскопом, например, при выполнении ЛА предусмотренного Полетным заданием маневрирования в вертикальной плоскости, т.е. по углу тангажа $\psi(t)$, а $\omega_y \ll \omega_0$ – малое возмущение этой угловой скорости. Такой режим имеет место, в частности, при движении аппарата по программной траектории в поисках цели.

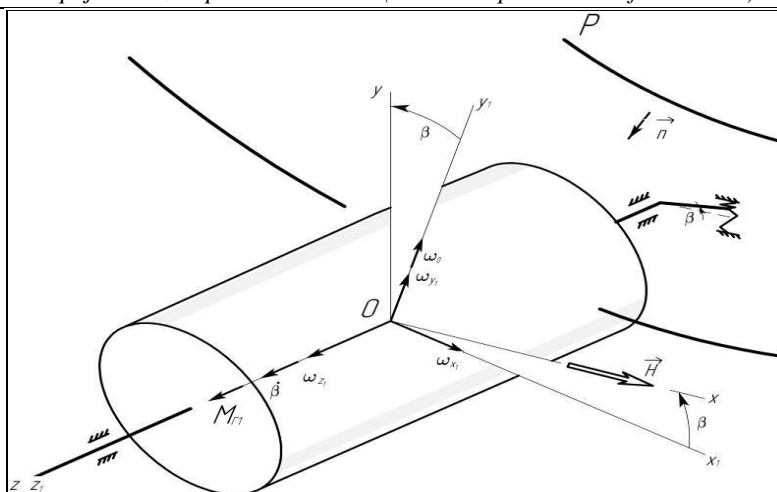


Рис. 8. Возмущенное состояние подвеса гироскопа при звуковом воздействии

Из схемы, изображенной на рис. 8, следует, что составляющие $(\omega_{x_1})_x$ и $(\omega_{y_1})_x$ не оказывают влияния на погрешность измерений, т.к. совпадают с направлением вектора кинетического момента \vec{H} . В то же время, кинематические возмущения $(\omega_{x_1})_y$ и $(\omega_{y_1})_y$ приведут к появлению гироскопического момента M_{G1} (рис. 8):

$$M_{G1} = H \left[-(\dot{\theta} - \dot{\phi} \sin \psi) \sin \beta + (\dot{\phi} \sin \theta \cos \psi + \dot{\psi} \cos \theta) \cos \beta \right]. \quad (3)$$

Очевидно, что это погрешности измерений, обусловленные действием только одного внешнего фактора – углового движения гиперзвукового ЛА. Исследованию этого типа погрешностей, равно как и методов их устранения, посвящены работы многих специалистов и в данном контексте не являются предметом пристального внимания.

Обратимся к изучению природы воздействия проникающего акустического излучения высокого уровня на гироскоп и выясним механизм появления дополнительных погрешностей измерений при работе прибора в акустическом реверберационном пространстве.

Природа появления дополнительных погрешностей

Изучая влияние дифракционных явлений на подвес гироскопа, ограничимся рассмотрением только смешанной краевой задачи, т.е. изучением дифракционных явлений на импедансной поверхности, как представляющей наибольший практический интерес. Результаты полунатурных стендовых испытаний на установке “Сирена” Института проблем прочности им. Г.С. Писаренко Национальной академии наук Украины подтвердили правильность этого выбора. Поплавковый подвес не является абсолютно мягким (задача Дирихле), но и не обладает абсолютно жесткой поверхностью (задача Неймана). При акустических давлениях в 150 дБ и выше, поверхность подвеса переходит из *абсолютно твердой* в разряд *импедансной*, т.е. такой, на поверхности которой под действием силового воздействия со стороны проникающего излучения возникают упругие перемещения поверхности в трех

направлениях – вдоль протяженности поплавка (координата Z), в окружном направлении (по параллели, координата φ) и в поперечном направлении (в плоскости шпангоута, координата W).

До тех пор, пока поверхность подвеса может считаться абсолютно твердой, все свойства поплавка сосредоточены в одном параметре – в моменте инерции. Отсюда следует и механизм описания погрешности прибора [16-18].

Если же поверхность превращается в *импедансную*, и совершает вынужденные упругие перемещения, то в силу инерциальных свойств гироскопа, упруго-напряженное состояние подвеса будет восприниматься прибором как входная величина и порождать дополнительную погрешность измерений в виде реакции на “ложную” угловую скорость корпуса летательного аппарата. Так как поверхность поплавкового подвеса достаточно велика, то и интегральная погрешность будет достигать значительных величин. Причем опасны не столько периодические ее составляющие, сколько имеющие место систематические компоненты [19-20].

Глубокое изучение явления убедительно подтвердило тот тезис, что нежелательны не столько упругие перемещения собственно поверхности подвеса, сколько совокупное одновременное действие на прибор кинематического возмущения со стороны корпуса летательного аппарата в виде его углового движения и упругих перемещений поверхности подвеса под влиянием прошедшего акустического излучения и вызванных им дифракционных эффектов. Должным образом настораживает и тот факт, что жидкостатический подвес является

прекрасным проводником звуковых волн и никоим образом не служит рассеянию энергии прошедшего поля. В итоге, сама идея поплавкового подвеса в этих условиях переходит на зыбкую почву ненадежности бортовой аппаратуры при эксплуатационном использовании гиперзвуковых летательных аппаратов [21, 22].

Следует особо указать еще на одну опасность для приборов инерциальной навигации – многоцикловое нагружение, имеющее место, например, в летательных аппаратах длительного действия. Акустическая погрешность поплавкового интегрирующего гироскопа в данном случае будет все время суммироваться и, в итоге, может привести к нештатным ситуациям. В частности, если эти приборы являются чувствительными элементами трехосной гиросtabilизированной платформы оптико-

электронной аппаратуры, оптических головок инфракрасного самонаведения, гироскопов и гироскопов и гироскопов.

Вышеизложенное наводит на мысль, что для акустических полей существующие расчетные модели погрешностей гироскопов требуют критического и всестороннего переосмысления. Прежде всего, подвес следует рассматривать как систему с распределенными параметрами или дискретно-непрерывными параметрами. Кроме того, необходимо обязательно учитывать неизменно присутствующую качку фюзеляжа. Кстати говоря, такой подход в полной мере соответствует имеющимся реалиям натуральных условий.

Таким образом, отправной точкой при построении расчетных моделей следует считать соизмеримость протяженности подвеса гироскопа с половиной длины волны проникающего акустического излучения [23-25].

Циклически деформированное состояние ($2 \leq k$)

Примем звуковое давление в падающей волне равным:

$$P_1 = P_{10} \exp i \left[\omega t - \vec{k}_0 \vec{R}_0(z, \varphi) \right], \quad (4)$$

где P_{10} – давление в падающей волне; $\vec{k}_0 = \vec{n} \frac{\omega}{c}$ – волновой вектор; c – скорость звука; \vec{n} – единичный вектор направления распространения волны; \vec{R}_0 – радиус-вектор точки поверхности поплавкового подвеса. Тогда, звуковые давления в падающей, отраженной и прошедшей волнах будут описываться соотношениями –

нический вектор направления распространения волны; \vec{R}_0 – радиус-вектор точки поверхности поплавкового подвеса. Тогда, звуковые давления в падающей, отраженной и прошедшей волнах будут описываться соотношениями –

$$P_1 = P_{10} \exp i \left[\omega t - k_0 (R \cos \varphi \cos \varepsilon_1 - R \sin \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2 - z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \right]; \quad (5)$$

$$P_2 = P_{20} \exp i \left[\omega t - k_0 (-R \cos \varphi \cos \varepsilon_1 - R \cos \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2 - z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \right]; \quad (6)$$

$$P_3 = P_{30} \exp i \left[\omega t - k_0 (R \cos \varphi \cos \varepsilon_1 - R \cos \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2 - z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \right]. \quad (7)$$

Внешнее динамическое воздействие на поплавок в осевом, окружном и поперечном направлениях будет определяться выражениями:

$$q_{1k}(t, z, \varphi) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} P_{10k} \left[(1+B+A) \exp i (\omega_k t + k_{0k} z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \cos k\varphi + (1+B-A) \exp i (\omega_k t + k_{0k} z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \sin k\varphi \right]; \quad (8)$$

$$q_{2k}(t, z, \varphi) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} P_{10k} \left[(1+B+A) \exp i (\omega_k t + k_{0k} R \sin \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2) \sin k\varphi + (1+B-A) \exp i (\omega_k t + k_{0k} R \sin \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2) \cos k\varphi \right]; \quad (9)$$

$$q_{3k}(t, z, \varphi) = \frac{1}{2} \sum_{k=0}^{\infty} P_{10k} \left[(1+B+A) \exp i (\omega_k t - k_{0k} R \cos \varphi \cos \varepsilon_1) \cos k\varphi + (1+B-A) \exp i (\omega_k t + k_{0k} R \cos \varphi \cos \varepsilon_1) \sin k\varphi \right], \quad (10)$$

а координатные функции подвеса будут строиться в виде:

$$U_z = \sum_{k=0}^{\infty} \left[a_k^{(1)}(t) z^2 (1-z)^2 \cos k\varphi \cos z + a_k^{(2)}(t) z^2 (1-z)^2 \sin k\varphi \sin z \right]; \quad (11)$$

$$U_\varphi = \sum_{k=0}^{\infty} \left[b_k^{(1)}(t) z^2 (1-z)^2 \sin k\varphi \cos z + b_k^{(2)}(t) z^2 (1-z)^2 \cos k\varphi \sin z \right]; \quad (12)$$

$$W = \sum_{k=0}^{\infty} \left[c_k^{(1)}(t) z^4 (1-z)^4 \cos k\varphi \cos z + c_k^{(2)}(t) z^4 (1-z)^4 \sin k\varphi \sin z \right]. \quad (13)$$

Осенесимметричное деформированное состояние ($k=1$). В этом случае возмущающие воздействия имеют вид –

$$\begin{aligned} q_{11}(t, z, \varphi) &= \frac{1}{2} P_{10} \left[(1+B+A) \exp i(\omega_1 t + k_{01} z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \cos \varphi + \right. \\ &\quad \left. + (1+B-A) \exp i(\omega_1 t + k_{01} z \sin \varepsilon_1 \sin \varepsilon_2) \sin \varphi \right]; \\ q_{21}(t, z, \varphi) &= \frac{1}{2} P_{10} \left[(1+B+A) \exp i(\omega_1 t + k_{01} R \sin \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2) \sin \varphi + \right. \\ &\quad \left. + (1+B-A) \exp i(\omega_1 t + k_{01} R \sin \varphi \sin \varepsilon_1 \cos \varepsilon_2) \cos \varphi \right]; \\ q_{31}(t, z, \varphi) &= \frac{1}{2} P_{10} \left[(1+B+A) \exp i(\omega_1 t - k_{01} R \cos \varphi \cos \varepsilon_1) \cos \varphi + \right. \\ &\quad \left. + (1+B-A) \exp i(\omega_1 t + k_{01} R \cos \varphi \cos \varepsilon_1) \sin \varphi \right], \end{aligned} \quad (14)$$

а координатные функции имеют следующую структуру:

$$U_z(t, z, \varphi) = z^2 (1-z)^2 \exp i\omega_1 t \left(a_1^{(1)} \cos \varphi \cos z + a_1^{(2)} \sin \varphi \sin z \right); \quad (15)$$

$$U_\varphi(t, z, \varphi) = z^2 (1-z)^2 \exp i\omega_1 t \left(b_1^{(1)} \cos \varphi \cos z + b_1^{(2)} \sin \varphi \sin z \right); \quad (16)$$

$$W(t, z, \varphi) = z^4 (1-z)^4 \exp i\omega_1 t \left(c_1^{(1)} \cos \varphi \cos z + c_1^{(2)} \sin \varphi \sin z \right). \quad (17)$$

Раскрытие природы явления достаточно убедительно проясняется на примере нестационарной задачи взаимодействия. В рамках трехмерной модели считаем, что вследствие дифракционных явлений на импедансной поверхности подвеса гироскопа элементы оболочечной части совершают упругие перемещения вдоль протяженности поплавка, в окружном направлении и в поперечной плоскости с относительными скоростями (рис. 9) –

$$\dot{U}_z(t, z, \varphi) = i\omega z^2 (1-z)^2 \exp i\omega_1 t \left(a_1^{(1)} \cos \varphi \cos z + a_1^{(2)} \sin \varphi \sin z \right) = i\omega U_z; \quad (18)$$

$$\dot{U}_\varphi(t, z, \varphi) = i\omega z^2 (1-z)^2 \exp i\omega_1 t \left(b_1^{(1)} \sin \varphi \cos z + b_1^{(2)} \cos \varphi \sin z \right) = i\omega U_\varphi; \quad (19)$$

$$\dot{W}(t, z, \varphi) = i\omega z^4 (1-z)^4 \exp i\omega_1 t \left(c_1^{(1)} \cos \varphi \cos z + c_1^{(2)} \sin \varphi \sin z \right) = i\omega W. \quad (20)$$

Выделив в плоскости шпангоута два элементарных объема $\partial z \partial \varphi \partial W$ массы ∂m , построим схему возникновения Эйлеровых сил инерции, конкретнее сил инерции Кориолиса, для двух режимов ЛА – циркуляции с угловой скоростью ω_0 и трехосной качки фюзеляжа [23].

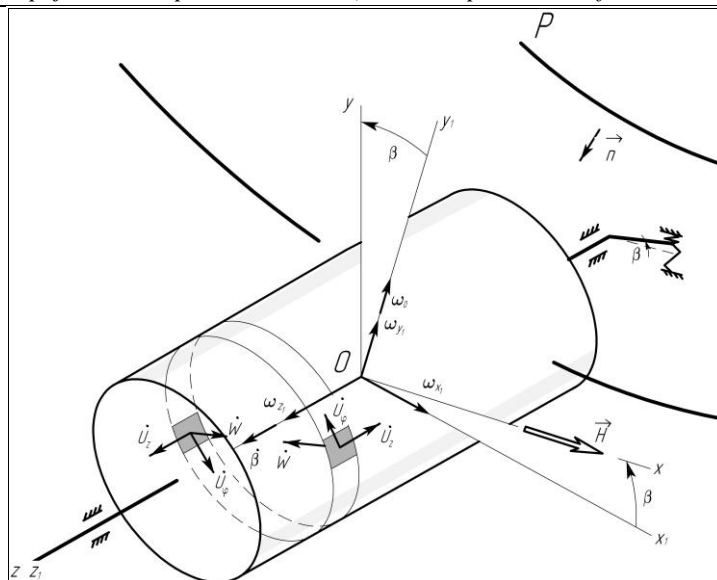


Рис. 9. Сложное движение поверхности подвеса гироскопа

Циркуляция

Пусть аппарат выполняет маневрирование с угловой скоростью ω_0 . Для простоты примем ее постоянной по величине.

Поверхность поплавка совершает сложное движение. Упругие ее смещения под действием проникающего акустического излучения являются относительным движением, циркуляция вместе с летательным аппаратом является переносным движением. Таким образом, элементы поверхности будут испытывать ускорения Кориолиса $\vec{W}_{c1} = 2\vec{\omega}_0 \times \vec{U}_z$ (рис. 1, а), $\vec{W}_{c2} = 2\vec{\omega}_0 \times \vec{U}_\varphi$ (рис. 10, б) и $\vec{W}_{c3} = 2\vec{\omega}_0 \times \vec{W}$ (рис. 10, в). Возникающие при этом силы инерции Кориолиса

$$d\vec{F}_{c1}(\dot{U}_z) = -dm\vec{W}_{c1}; \quad d\vec{F}_{c2}(\dot{U}_\varphi) = -dm\vec{W}_{c2}; \quad d\vec{F}_{c3}(\dot{W}) = -dm\vec{W}_{c3}$$

послужат причиной проявления моментов сил инерции Кориолиса

$$dM_{c1}(\dot{U}_z) = 2R\sin\phi W_{c1} dm; \quad dM_{c2}(\dot{U}_\varphi) = 2RW_{c2} dm; \quad dM_{c3}(\dot{W}) = 2RW_{c3} dm.$$

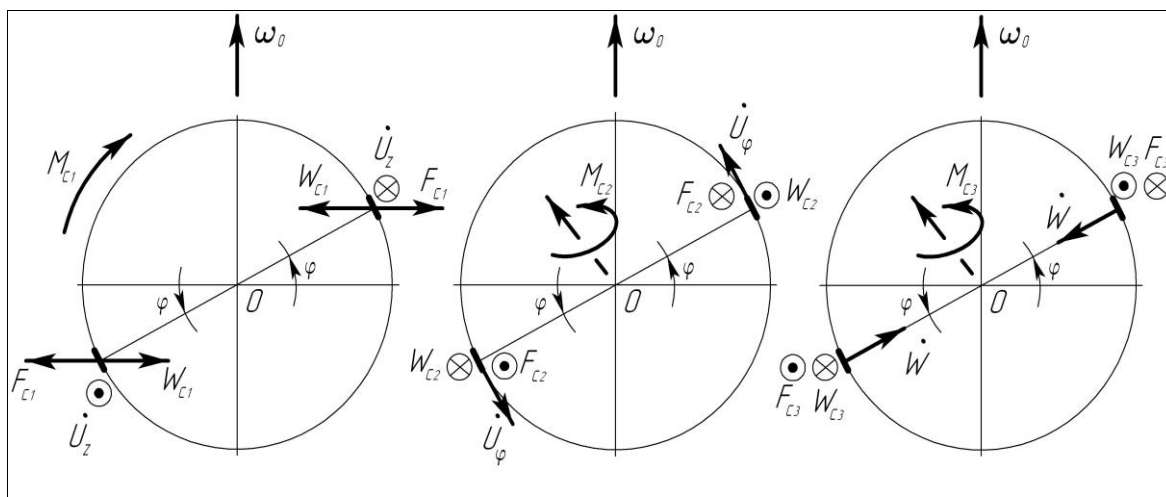


Рис. 10. Механизм возникновения моментов сил инерции Кориолиса на циркуляции

Принимая во внимание, что $h \ll R$, т.е. что толщина поплавка намного меньше его радиуса, после интегрирования по всей поверхности подвеса, определяем полные значения действующих моментов:

$$M_u^c(U_z) = \frac{8I\omega_0}{R} i\omega U_z; \tag{21}$$

$$M_u^c(U_\varphi) = \frac{8I\omega_0}{R} i\omega U_\varphi; \quad (22)$$

$$M_u^c(W) = 0, \quad (23)$$

где I – момент инерции подвижной части относительно выходной оси, оси Z .

Чтобы четко уяснить весь механизм явления, представим векторы моментов в виде их составляющих по направлениям $\vec{\omega}_0$ и \vec{H} (рис. 11).

Упругие перемещения поверхности подвеса в направлении его протяженности (рис. 11, а). Величина возмущающего момента отображается формулой (21) –

$$M_u^c(U_z) = \frac{8I\omega_0}{R} i\omega U_z(t, z, \varphi). \quad (24)$$

Вектор момента направлен вдоль оси подвеса, т.е. вдоль оси Z , за рисунок. Его величина будет пропорционально акустической погрешности прибора, а влияющие факторы следуют из формул (15) и (18).

Упругие перемещения поверхности в окружном направлении, вдоль параллели (рис. 11, б). Представим вектор момента сил инерции Кориолиса в виде двух составляющих M_1 и M_2 –

$$M_1(t) = M_\varphi \sin 2\varphi; \quad (25)$$

$$M_2(t) = 2M_\varphi \sin^2 \varphi,$$

после интегрирования по углу φ в окончательном виде устанавливаем их значения –

$$M_1(t) = M_\varphi(t); \quad (26)$$

$$M_2(t) = \pi M_\varphi(t),$$

где $M_\varphi(t, z, \varphi) = \frac{4}{R} I\omega_0 i\omega U_\varphi(t, z, \varphi)$; I – момент инерции подвижной части подвеса с ги-роагрегатом относительно выходной оси.

Очевидно, что наибольшую опасность представляет составляющая $M_1(t, z, \varphi)$, т.к. вызывает пре-цессию гироскопа относительно оси подвеса:

$$\vec{\omega}_\varphi \times \vec{H} = \vec{M}_1(t, z, \varphi); \quad (27)$$

$$\omega_\varphi = \frac{4I\omega_0 i\omega U_\varphi(t, z, \varphi)}{HR}. \quad (28)$$

Рассуждая аналогично, можно установить степень влияния радиальных упругих перемещений $W(t, z, \varphi)$ (рис. 11, в).

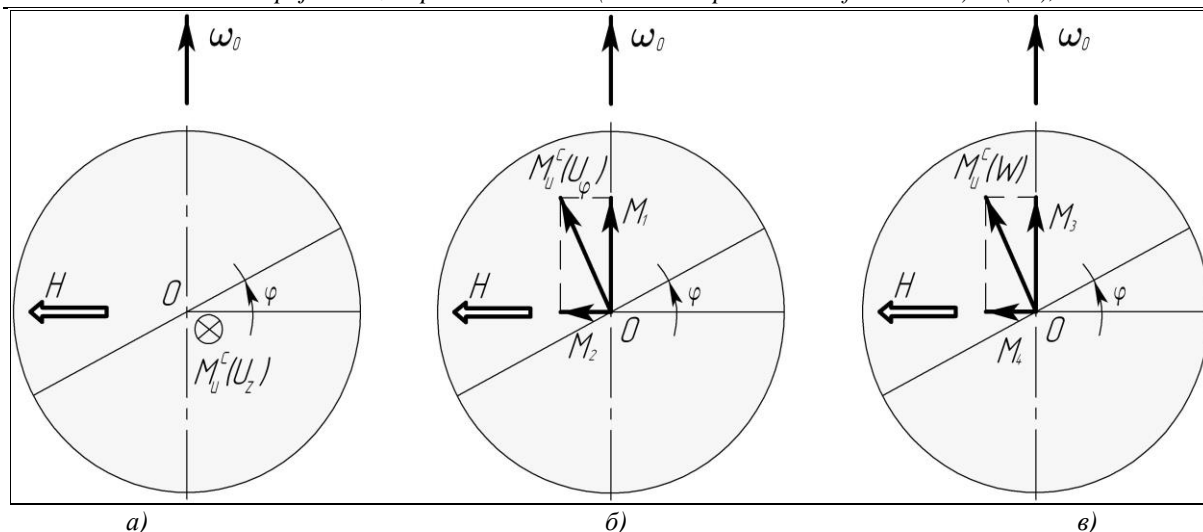


Рис. 11. Возмущающие моменты, вызванные упруго-напряженным состоянием поплавоквого подвеса гироскопа

Несмотря на стремительное развитие альтернативных средств навигации, в частности, глобальных спутниковых радионавигационных систем класса «ТРАНЗИТ» и «ЦИКАДА» с использованием низкоорбитальных искусственных спутников Земли, а также среднеорбитальных «NAVSTAR» и «ГЛОНАСС» для обеспечения оперативной навигации наземных, воздушных и космических аппаратов в режимах открытого и закрытого каналов, инерциальные системы в настоящее время все же остаются одними из самых надежных на подвижных объектах, так как обладают принципиальным достоинством – автономностью. К слову сказать, Международная Конвенция SOLAS-74 приняла решение об обязательном укомплектовании судов водоизмещением выше 500 Т гироскопическим компасом.

Выводы и предложения. Проведенный сравнительный анализ преимуществ баллистических ракет и гиперзвуковых средств для доставки полезного груза в заданную точку при решении задач обороны и очерчено целесообразность применения тех, или иных, технологий. Доказано, что в условиях гиперзвукового полета проникающее акустическое излучение может оказать решающее воздействие на возникновение дополнительных погрешностей инерциальных систем бортовой аппаратуры. Построенные расчетные схемы явления позволяют провести аналоговую и численную оценку влияния проникающих звуковых волн на механические системы бортовой инерциальной аппаратуры, в том числе, в экстремальных условиях резонансного типа на основе возникновения волнового совпадения. Установлено, что расчетные модели погрешностей инерциальных систем должны проводиться с учетом упругой податливости элементов систем подвеса гироскопов, что требует присутствия в расчетных моделях переносных и кориолисовых сил инерции, точнее их моментов. Последний тезис позволяет выявить эффект избирательности кинематическими параметрами углового движения корпуса-носителя частот акустической вибрации поверхности подвеса и вы-

явить, кроме периодических составляющих, систематические погрешности инерциальной аппаратуры в натуральных условиях. Наличие эффекта избирательности частотами углового движения корпуса ЛА частот акустической вибрации поверхности подвеса гироскопа позволяют правильно выбрать технические решения борьбы с этим влиянием – активными, пассивными либо методами автокомпенсации.

Список использованной литературы

1. Пономарев А. Н. Годы космической эры. – М.: Воениздат, 1974. – 291 с
2. Воздушно-орбитальный самолет (ВОС) "Спираль" [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.buran.ru/hm/spiral.htm>.
3. Уманский С. П. Космическая одиссея. – М.: Мысль, 1988. – 279 с
4. Музыка О. Небесные шпионы. – К.: Всеукраинская газета расследований "Секретные версии", № 9, 2007. – С. 16.
5. JAXA запускает второй навигационный спутник «MICHIBIKI» KC QZSS [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.mapgroup.com.ua/news/1775-jaxa-zapuskaet-vtoroj-navigatsionnyj-sputnik-michibiki-ks-qzss>
6. Индия выполнила первый пуск самой мощной своей ракеты GSLV Mk.3 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://mapgroup.com.ua/news/1784-5-iyunya-2017-indiya-vypolnila-pervyj-pusk-samoj-moshchnoj-svoej-rakety-gslv-mk-3>
7. Ракета Blue Origin слетала в космос второй раз [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://zoom.cnews.ru/rnd/news/top/raketa_blue_origin_sletala_v_kosmos_vtoroj_raz
8. Афинов В. Тактическая и оперативная беспилотная разведывательная авиация вооруженных сил США // Зарубежное военное обозрение. 1997. № 6.
9. Силкин А., Бренер Б. ПВО Североамериканского континента: сегодня и завтра // Воздушно-космическое обозрение. 2002. № 1 (4).

10. Основы спутниковой навигации [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.tkchel.ru/download/doc/BasicGPS.pdf>

Суперракеты для Т-50 уже "на подлете" [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://topwar.ru/100197-superrakety-dlya-t-50-uzhe-na-podlete.html>

11. Кузьмичев, Ю.М. Возбуждение цилиндрической оболочки ультразвуком [Текст]// Ю.М. Кузьмичев, В.И. Макаров // Акуст. журнал, 1958. – Т.IV. Вып. 3. – С. 282 – 283.

12. Макаров, В.И. Об излучении волн оболочками в звуковом поле [Текст] В.И. Макаров, Н.А. Фадеев // Акуст. журнал, 1960. – Т.IV. Вып. 2. – С. 261 – 263.

13. Патент № 66311 на корисну модель, Україна, МПК (2011) G01C19/20. Поплавковий гіроскоп / В.В. Карачун, М.С. Тривайло, В.М. Мельник, О.С. Руденко. U 201108294. – Заявл. 01.07.2011. – Опубл. 26.12.2011. Бюл. 24. – 1с.

14. Шендеров, Е. Л. Волновые задачи гидроакустики [Текст]: моногр./ Е.Л. Шендеров – Л.: Судостроение, 1972. – 352 с.

15. Заборов, В.И. Теория звукоизоляции ограждающих конструкций [Текст]: моногр./ В.И. Заборов – М.: Стройиздат, 1962. – 116 с. – Библиогр.: с. 113-114.

16. Reissner, H. Der senkrecht und schräge Durchtritt einer in einen flüssiger Medium erzeugten ebenen Dilatations – (Longitudinal) – Welle durch eine in diesen Medium befindliche planarallele feste Platte [Текст]/ Y. Reissner // Helv. Phys. Acta. – 1938. – Т. 11.

17. Schoch, A. Der Schalldurchgang durch Platten [Текст]/ A. Schoch // Acustica. – 1952. – Т. 2.

18. Лейбензон, Л.С. Курс теории упругости [Текст]: учеб. для вузов/ Л.С. Лейбензон. – М.: Гос-техтеоретиздат, 1947. – 453 с.

19. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле [Текст]: пер. с англ. / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. – М.: Машиностроение, 1985. – 472 с.

20. Mel'nik, V.N. Influence of acoustic radiation on the sensors of a gyrostabilized platform [Текст]/ V.N. Mel'nik, V.V. Karachun// 2004; Prikladnaya Mekhanika. ISSN: 00328243. Volume: 40. Issue: 10. Pages: 122-130. Year: 2004-12-01. EID: 2-s2.0-14844342416. Scopus ID: 14844342416.

21. Korobiichuk, I., Karachun, V., Mel'nick, V., Kachniarz, M. Modelling of influence of hypersonic conditions on gyroscopic inertial navigation sensor suspension/ Metrology and Measurement Systems Volume 24, Issue 2, 2017, Pages 357-368.

22. Karachun, V., Mel'nick, V. Acoustic radiation energy focus in a shell with liquid/ Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017. P. 459-463.

23. Mel'nick, V., Karachun, V. The emergence of resonance within acoustic fields of the float gyroscope suspension// EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies/ Volume 1, Issue 7, 2016, Pages 39-44.

24. Mel'nik, V.N. Stress-strain state of a gyroscope suspension under acoustic loading [Текст]/ V.N. Mel'nik // 2007; Strength of Materials. ISSN: 00392316. Volume: 39. Issue: 1. Pages: 24-36. Year: 2007-01-01. EID: 2-s2.0-34147198666. Scopus ID: 34147198666. DOI: 10.1007/s11223-007-0004-6.

Kensytskyi O.H.

*Doctor of sciences (engineering), leading researcher,
Institute of Electrodynamics, NAS of Ukraine*

Vlasenko T.S.

*Candidate of sciences (physics and mathematical), manager of department,
Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine*

Hvalin D.I.

*engineer,
Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine*

HEAT ANALYSIS OF POWERFUL ELECTRICAL MACHINE FOR COOLING FAILURE

Кенсицький Олег Георгійович

*доктор технічних наук, провідний науковий співробітник,
Інститут електродинаміки НАН України*

Власенко Тетяна Станіславівна

*кандидат фізико-математичних наук, завідувач відділу,
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України*

Хвалін Денис Ігорович

*інженер,
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України*

АНАЛІЗ НАГРІВУ ПОТУЖНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МАШИНИ ПРИ ПОРУШЕННІ ОХОЛОДЖЕННЯ

Summary: A three-dimensional mathematical model of heat transfer processes in a stator winding bar of powerful turbogenerator is developed. Heat levels of bar elementary conductors for different number and location in a bar of hollow conductors with failure or absent circulation of refrigerant are determined. With help the mathematical simulation proved when in single column the number of adjacent no-circulation hollow conductors not exceed three the turbogenerator TGV-250-PT3 can be operated without any restrictions on the active load. When

located close up the four stopple hollow conductors, the active load should be reduced to 85% from the nominal load, and at the five - down to 75 % from the nominal load.

Анотація: Розроблена тривимірна математична модель перебігу теплообмінних процесів у стержні обмотки статора потужного турбогенератора. Визначені рівні нагріву елементарних провідників стержня при різних кількості та розташуванні у стержні порожнистих провідників, циркуляція холодоагенту в яких порушена або відсутня. За допомогою математичного моделювання доведено, що у випадку, коли в одному стовпчику кількість поруч розташованих порожнистих провідників, циркуляція у яких відсутня, не перевищує трьох, турбогенератор типу ТГВ-250-ПТЗ може експлуатуватися без будь-яких обмежень по активному навантаженню. При розташованих поряд чотирьох закупорених порожнистих провідниках активне навантаження має бути знижене до 85 % від номінального навантаження, а при п'яти – до 75 %.

Keywords: *turbogenerator, stator, winding, bar, refrigerant.*

Ключові слова: *турбогенератор, статор, обмотка, стержень, холодоагент.*

Постановка проблеми. Створення турбогенераторів великої потужності було би неможливим без застосування сучасних систем охолодження найбільш навантажених у електромагнітному відношенні вузлів. Перш за все це стосується обмотки статора. Впровадження безпосереднього рідинного охолодження стержнів обмотки статора дозволило до 3000 А/см підвищити лінійне навантаження турбогенераторів і, як наслідок, збільшити одиничну потужність енергоблоків, зокрема і атомних електростанцій. Сьогодні одинична потужність більшості енергоблоків атомних електростанцій у 1000-1300 МВт є звичайним явищем.

Разом з тим, зрозуміло, що впровадження безпосереднього рідинного охолодження обмотки статора пов'язане із створенням додаткових систем забезпечення підготовки та циркуляції дистилату,

контролю й підтримки його діелектричних показників, тощо. І від надійності всіх елементів системи охолодження обмотки статора залежить надійність турбогенератора в експлуатації в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідною передумовою надійності турбогенератора в експлуатації є забезпечення щільності рідинної системи охолодження, особливо, всередині корпусу. Кожен стержень обмотки статора складається із транспонованих елементарних провідників, частина із яких виконані порожнистими і мають канали, по яких власне і циркулює дистилат. Порушення щільності порожнистих провідників призводить до витoku дистилату, зволоженню головної ізоляції, зниженню її електричної стійкості і, насамкінець, до її електричного пробую.

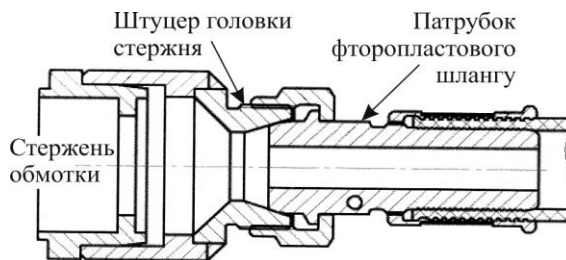


Рис. 1

При виявленні течі дистилату всередині корпусу турбогенератор повинен бути негайно зупинений, ремонтним персоналом виконується обстеження стану системи охолодження з метою локалізації та можливого усунення ушкоджень. Якщо причиною течі є ушкодження елементарного порожнистого провідника (або декількох) агрегат зазвичай виводиться у довготривалий ремонт, пов'язаний із заміною ушкодженого стержня.

В турбогенераторах деяких виробників (наприклад, ДП «Завод «Електроважмаш», м. Харків) конструкція підводу дистилату до лобових частин виконана розбірною (рис. 1 [1]). При виявленні порушення щільності порожнистих елементарних провідників в стержні шланг підводу дистилату від'єднується, головка розкривається і з'являється доступ до входів дистилату в порожнисті провідники. Якщо відомо, які саме порожнисті

провідники мають тріщини у стінках, вони заглушуються (запаюються) зі сторони входу дистилату (сторона турбіни). Тим самим виключається необхідність негайного проведення ремонту, і роботи із заміни ушкодженого стержня можуть бути виконані під час найближчого середнього або капітального планово-попереджувального ремонту. Звичайно, кількість заглушених порожнистих провідників повинна бути обмеженою, температура стержня при цьому не повинна перевищувати граничних значень, що відповідають класу нагрівостійкості ізоляції обмотки. Так в інструкції з експлуатації турбогенераторів виробництва ДП «Завод «Електроважмаш» кількість заглушених поруч розташованих порожнистих провідників не повинна перевищувати двох. Разом з тим, незрозуміло, що робити, якщо кількість

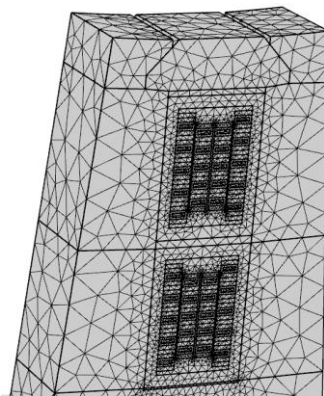


Рис. 3

заглушених провідників більша, і вони розташовані у стержні окремо один від одного.

Мета роботи. Метою виконаного дослідження є визначення максимальних температур стержня обмотки статора при різних варіантах кількості і розташування по перетину заглушених порожнистих провідників. Що дозволить сформулювати обґрунтовані висновки щодо можливості експлуатації турбогенератора в основних режимах без обмежень або необхідності зниження навантаження в залежності від кількості і розташування у стержні заглушених порожнистих провідників.

Виклад основного матеріалу. Перебіг теплових процесів досліджується на математичній моделі стержня обмотки статора турбогенератора

типу ТГВ-250-2ПТЗ. Турбогенератори цього типу експлуатуються у складі енергоблоків № 3 і № 4 АЕС «Kaiga» і енергоблоків № 5 і № 6 АЕС «Rajasthan» (Індія).

Особливістю конструкції стержнів є їх виготовлення за принципом «робель у робелі», коли їх перетин (рис. 2) містить два транспонованих стержні, один із яких розташований всередині іншого. Для внутрішнього стержня на один порожнистий провідник припадає два суцільних, для зовнішнього – три. Така конструкція забезпечує ефективний відвід теплових втрат від елементарних провідників навіть при часткових порушеннях циркуляції холодоагенту в окремих порожнистих провідниках.

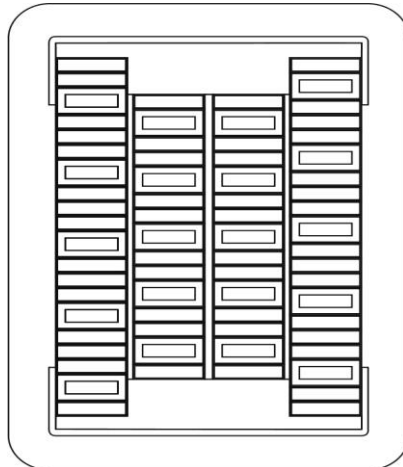


Рис. 2

При створенні розрахункової математичної моделі перебігу теплообмінних процесів прийнята низка припущень, які спрощують розрахунок і разом з тим не впливають на їх достовірність реальним фізичним процесам моделі:

враховуючи наявність транспозиції елементарних провідників, прийнято, що тепловиділення в міді розподілені рівномірно;

теплові втрати в сталі осердя статора в радіальному напрямку задані за результатами експериментальних досліджень для турбогенератора аналогічної потужності [2];

елементи розрахункової області розглядаються як однорідні анізотропні тіла з усередненими

теплофізичними характеристиками матеріалів по відповідному напрямку в межах елементарних розрахункових об'ємів;

коефіцієнти тепловіддачі з охолоджуючих поверхонь визначаються по відповідним критеріальним залежностям та експериментальним даним [2-4];

залежність теплофізичних параметрів (коефіцієнтів теплопровідності, питомої густини, теплоємності) матеріалів обмотки і осердя статора від температури не враховується при виборі розрахункової області враховується симетрія і періодична повторюваність елементів конструкції

обмотки і осердя статора, умов охолодження і тепловиділень по колу статора; втрати в міді стержня та в сталі осердя статора, а також теплофізичні параметри (коефіцієнти теплопровідності, питомої

густини та теплоємності) задаються для очікуваної розрахункової температури.

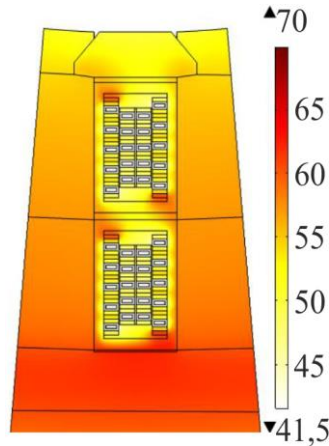


Рис. 4

З огляду на наведені припущення, конструктивні особливості турбогенератора та наявну схему циркуляції холодоагентів розглядається польова задача спільного розрахунку тривимірного температурного поля для сектора пакету осердя та обмотки статора. Розрахункова схема охоплює зубцеве (пазове) ділення статора (рис. 3). Для пазової частини обмотки математично коректно описано тепловий зв'язок із осердям (сталлю) статора. Аналогічно описаний тепловий зв'язок поверхонь пакету з охолоджуючим воднем.

Опис температурного поля виконаний за допомогою системи диференціальних рівнянь теплопровідності

$$c(\theta, l) \rho(\theta, l) \frac{\partial \theta}{\partial t} = \text{div}(\lambda(\theta, l) \cdot \text{grad} \theta) + q_v(\theta, l)$$

з наступними граничними умовами:

$$\theta_{xi} = \pm \frac{\lambda_M}{\alpha_{xi}} \frac{\partial \theta}{\partial l_i} \quad \text{— для охолоджуючих каналів порожнистих провідників;}$$

$$\theta_{xi} = \pm \frac{\lambda_3}{\alpha_{xi}} \frac{\partial \theta}{\partial l_i} \quad \text{— для зовнішніх теплообмінних поверхонь пакета осердя статора;}$$

$$\pm \lambda_i \frac{\partial \theta_i}{\partial n}(\xi - 0) = \Lambda_k [\theta_i(\xi + 0) - \theta_j(\xi - 0)] \quad i$$

$$\Lambda_k [\theta_i(\xi + 0) - \theta_j(\xi - 0)] = \pm \lambda_j \frac{\partial \theta_j}{\partial n}(\xi + 0) \quad \text{— на межі дотичних поверхонь елементів роз-$$

зрахункової області;

де θ — температура в області аналізу;

l — відповідна просторова координата;

α_{xi} — коефіцієнт тепловіддачі з відповідної поверхні;

$\Lambda_k = \lambda_k F_k$ — теплопровідність контакту (F_k — площа та λ_k — еквівалентний коефіцієнт теплопередачі контакту);

c, ρ, λ — питома теплоємність, щільність і коефіцієнт теплопровідності області аналізу.

У загальному вигляді задача є нелінійною, її вирішення здійснюється методом скінчених елементів у тривимірній (просторовій) постановці [5]. Передбачається, що розглянута крайова задача є коректною, тобто вона має рішення і тільки одне, яке безперервно залежить від вхідних даних. Процес поширення тепла в загальному вигляді описується законом збереження енергії (рівнянням теплового балансу).

Достовірність створеної математичної моделі перебігу теплообмінних процесів у стержні обмотки статора при порушенні циркуляції холодоагенту перевірена шляхом співставлення результатів тестових розрахунків із даними штатної системи теплового контролю для номінального режиму навантаження турбогенератора (рис. 4). Максимальний нагрів у номінальному режимі навантаження складає 70 °C (сталь пакету в зоні дна

паза). Розбіжність між отриманими на математичній моделі температурами активних елементів (мідь стержнів, залізо пакетів) та експлуатаційними даними склала не більше 10 %, що свідчить про відповідність моделі реальним теплофізичним процесам.

У результаті моделювання порушення охолодження (припинення циркуляції холодоагенту) в окремих елементарних провідниках встановлено, що при номінальному навантаженні й припиненні циркуляції дистилату у двох розташованих поруч порожнистих елементарних провідниках максимальна температура міді стержня не перевищує припустимих значень (140 °C) і при температурі дистилату 40 °C складає 111 °C (рис. 5а). Якщо циркуляція дистилату відсутня у трьох елементарних порожнистих провідниках, то максимум температури міді залежить від їхнього взаємного розташування. Якщо закупорені провідники розташовані у

одному стовпчику, температура досягає 113 °C (рис. 5б). Коли ж ці провідники зосереджені у кутовій зоні перетину стержня максимум температури може сягати гранично припустимих значень (рис. 5в).

Тобто у випадку, коли в одному стовпчику кількість поруч розташованих порожнистих провідників, циркуляція у яких відсутня, не перевищує трьох, турбогенератор може експлуатуватися без будь-яких обмежень по активному навантаженню. Такий же висновок можна зробити для випадку чотирьох закупорених провідників, якщо вони розташовані у внутрішньому стержні. Максимальні температури міді в цих випадках становлять 113 °C і 105 °C, відповідно, і відведення надлишкових втрат здійснюється за рахунок теплового зв'язку між внутрішнім і зовнішнім стержнями.

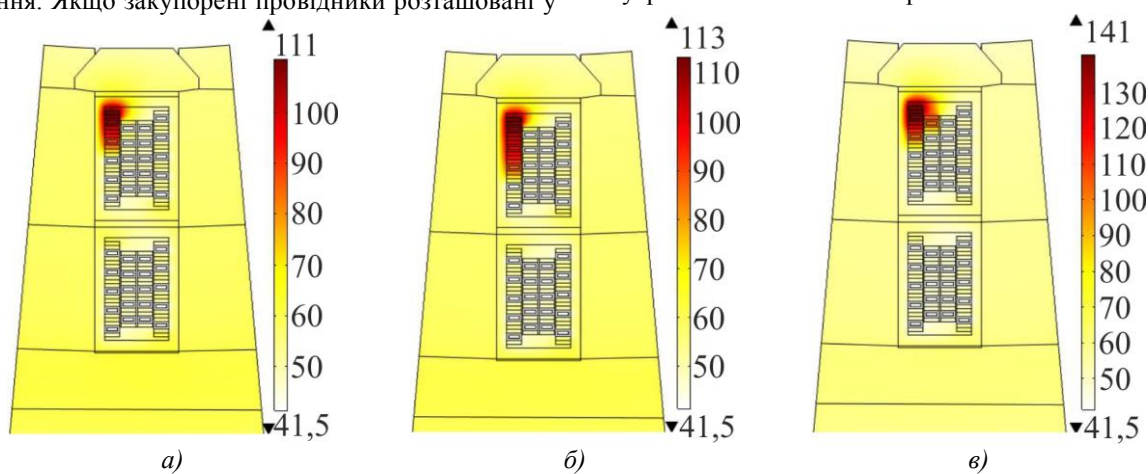


Рис. 5

Якщо три закупорених провідника зосереджені в одному місці (наприклад, один – у зовнішньому стержні, а 2 – у внутрішньому, або навпаки), максимальні температури досягають граничного рівня (140 °C). Це вимагає посилення контролю штатними засобами – термометрами опору, які розташовані між стержнями, а також на виході дистилату із стержня. Якщо у першому випадку із-за наявності транспозиції імовірність фіксації порушення становить не більше 5 %, то на виході дистилату підвищення температури у порівнянні із нормальним станом становить майже 3 °C, що може бути зафіксовано і слугувати ознакою порушення охолодження.

При більшій кількості порожнистих провідників, циркуляція холодоагенту в яких відсутня, максимум температури залежить від їх взаємного розташування. І при їх концентрації в одній зоні максимальні температури перевищують припустимі значення. Так, при 4-ьох провідниках в одній зоні максимум становить 160 °C, і, відповідно, при 5-ти – 170 °C. Подальша експлуатація турбогенератора в таких випадках можлива лише при обмеженні активного навантаження. Так при розташованих поряд чотирьох закупорених порожнистих провідниках активне навантаження має бути знижене до 85 % від номінального, а при п'яти – до 75 %.

Для випадків інших комбінацій порушення циркуляції (розкидання закупорених провідників по перетину стержня) необхідне проведення додаткових досліджень за указаними напрямками. При необхідності тимчасової експлуатації турбогенератора із наявністю закупорених провідників у стержні обмотки статора, повинні бути визначені критерії, які б визначали припустиму кількість ушкоджених провідників та їх можливе взаємне розташування у стержні. Одночасно має бути визначений припустимий рівень навантаження турбогенератора із ушкодженою обмоткою.

Висновки

Впровадження безпосереднього рідинного охолодження стержнів обмотки статора дозволило підвищити лінійне навантаження турбогенераторів і, як наслідок, збільшити одиничну потужність енергоблоків, зокрема і атомних електростанцій, але така система охолодження обмотки статора пов'язана із створенням додаткових систем забезпечення підготовки та циркуляції дистилату, контролю й підтримки його діелектричних показників і т.д., що знижує надійність експлуатації турбогенератора в цілому.

За допомогою розробленої польової тривимірної математичної моделі перебігу теплообмінних процесів у стержні обмотки статора потужного турбогенератора досліджено максимальні температури

стержня обмотки статора при порушенні циркуляції холодоагенту. Встановлено, що у випадку, коли в одному стовпчику кількість поруч розташованих порожнистих провідників, циркуляція у яких відсутня, не перевищує трьох, турбогенератор ТГВ-250-ПТЗ може експлуатуватися без будь-яких обмежень по активному навантаженню. При розташованих поряд чотирьох закупорених порожнистих провідниках активне навантаження має бути знижене до 85 % від номінального, а при п'яти – до 75 %.

Література

1. Зозулін Ю. В. Створення нових типів та модернізація діючих турбогенераторів для теплових електричних станцій / Ю. В. Зозулін, О. Є. Антонов, В. М. Бичік. – Харків: ПФ «Колегіум», 2011. – 228 с.
2. Счастливый Г. Г. Турбо- и гидрогенераторы при переменных графиках нагрузки / Г. Г. Счастливый, Г. М. Федоренко, В. И. Выговский. – Киев: Наук. думка, 1985. – 208 с.
3. Счастливый Г. Г. Электрические машины с жидкостным охлаждением / Г. Г. Счастливый, Г. М. Федоренко, В. А. Терешонков, В. И. Выговский. – Киев: Наук. думка. – 1989. – 288 с.
4. Хуторецкий Г. М. Проектирование турбогенераторов / Г. М. Хуторецкий, М. И. Токов, Е. В. Толвинская. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1987. – 256 с.
5. Comsol Multiphysics modeling and simulation software. <http://www.comsol.com/>

Qurbonalizoda S.S.

Ph.D. student, deputy Director of cascade Varzob's HPPs OSHC «Barqi Tojik», Tajikistan

Gulakhmadov A.A.

*Dr. chief specialist of energy department
Ministry of energy and water resources of the Republic of Tajikistan*

Kobuliev Z.V.

*Doctor of technical sciences, professor, member correspondent,
Director Institute of water problems, hydropower and ecology of
Academy of sciences of the Republic of Tajikistan*

THE TESTING OF PULSATION CHARACTERISTICS OF THE KAPLAN TURBINE 30

Курбонализода Саидабдулло Шамсулло

*аспирант, заместитель Директора каскада
Варзобских ГЭС, ОАХК «Барки Тоҷик», Таджикистан*

Гулахмадов Амиджон Абдуджабборович

кандидат технических наук,

*главный специалист управления электроэнергетики
Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан*

Кобулиев Зайналобудин Валиевич

*доктор технических наук, профессор, член кор.,
Директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН РТ*

ТЕСТИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРОТУРБИНЫ ПЛЗ0

Summary. Current study discusses the general laws of the formation of pressure pulsations in the flow parts of the hydraulic turbine in order to ensure their reliability, which contribute to the durability of the hydraulic unit. In the practice of operating hydro power plants, there are cases of significant vibration of hydraulic units. According to [2], the causes of these vibrations can be divided into three main groups, according to the origin of the disturbing forces: mechanical, electrical and hydrodynamic. In this paper, we will consider only hydraulic disturbing forces. Key words: pulsation, pressure, Kaplan turbine, cavitation, runner, spiral case, guide vane, draft tube.

Анотация. В статье рассматриваются общие закономерности формирования пульсации давления в проточных частях гидротурбины с целью их надежности, которые способствуют долговечности гидроагрегата. В практике эксплуатации гидроэлектростанций наблюдаются случаи значительной вибрации гидроагрегатов. Согласно [2] причины этих вибраций могут быть разделены на три основные группы, в соответствии с происхождением возмущающих сил: механические, электрические и гидродинамические. В настоящей работе мы будем рассматривать лишь гидравлические возмущающие силы. Ключевые слова: пульсация, давление, поворотно-лопастная гидротурбина, кавитация, рабочее колесо, направляющий аппарат, отсасывающая труба.

Введение. В поворотно-лопастных турбинах в процессе регулирования рабочие лопасти отстают, как правило, от того положения, которое они

должны иметь согласно комбинатору, связанному с сервомотором направляющего аппарата. Обычно в

случае закрытия направляющего аппарата и отставания рабочих лопастей приведенный расход через турбину и в первое время мощность будут больше, а при открытии, наоборот, меньше, чем тогда, когда согласно комбинаторной зависимости открытие и угол поворота соответствуют друг другу. Поворотно-лопастная турбина отличается от пропеллерной тем, что лопасти ее рабочего колеса не закреплены неподвижно. С помощью специального механизма, находящегося внутри втулки рабочего колеса, лопасти могут поворачиваться, причем поворачиваются они одновременно с поворотом лопаток направляющего аппарата. Таким образом, как бы ни изменились направление и скорость потока воды, выходящего из направляющего аппарата, лопасти рабочего колеса этой турбины всегда бывают повернуты наиболее выгодным образом [9]. Особенностью турбины, обусловившей ее название, является возможность разворота лопастей (которых, к слову, может быть от 3 до 8 штук). Механизм разворота размещается во втулке рабочего колеса и приводится в действие давлением масла.

Пульсации давления в проточной части гидротурбин возникают в результате колебания абсолютной скорости в рассматриваемой точке. Эти колебания вызываются различными источниками:

- турбулентными пульсациями скорости при обтекании элементов проточной части;
- вращением неравномерного поля скоростей, создаваемого рабочим колесом;
- взаимодействием решетки рабочего колеса с неравномерным полем скоростей, создаваемым спиральной камерой, колоннами статора и направляющим аппаратом;
- вращением вихревого жгута;
- колебанием расхода через проточную часть при режимах с форсированной мощностью [1].

Целью настоящей работы является исследование пульсации давления в проточной части гидротурбины ПЛЗ0.

Общие закономерности формирования пульсации давления. Пульсации давления в проточных частях гидротурбин относятся к явлениям, которые способствуют снижению их надежности и долговечности. Поэтому одной из важнейших задач при проектировании новых гидротурбин и модернизации гидротурбин, отработавших свои ресурсы, является прогнозирование пульсаций давления и разработка мероприятий по их устранению или снижению.

Процесс пульсаций давления сложный, он содержит большое количество компонент, имеющих различную природу и сочетающихся в различных количественных отношениях в зависимости от параметров режима и выбора места проточной части, где исследуется уровень пульсаций. Жгутовые пульсации возникают в результате движения вихревого жгута в отсасывающей трубе на большинстве режимов работы жестколопастных гидротурбин. Обратные пульсации объясняются наличием пика скоростей за направляющим аппаратом в результате неравномерного подвода либо неравномерным шагом лопастей в решетке радиально-осевых или неодинаковыми углами установки лопастей у поворотных-лопастных гидротурбин.

Лопастные пульсации возникают в результате энергообмена между потоком и решетками профилей гидротурбин всех типов, который приводит к неравномерной эпюре скоростей за рабочим колесом. Лопаточные пульсации возникают из-за шаговой неравномерности потока за решеткой направляющего аппарата и воспринимаются рабочим колесом; пульсации, возникающие за счет вихреобразования при обтекании отдельных элементов проточной части и решеток колон статора, направляющего аппарата, рабочего колеса. Пульсации, вызванные кавитационными явлениями в проточной части гидротурбин и турбулентностью потока.

Частоты некоторых отмеченных компонент пульсаций давления составляют:

частота жгутовых пульсаций зависит от параметров режима и изменяется в широком диапазоне от $\approx 0,2$ до $\approx 1,5 \div 2$ оборотных;

оборотные частоты составляют $f_{об} = \frac{n}{60}$, Гц.

лопастные частоты зависят от числа лопастей и частоты вращения рабочего колеса

$$f_n = \frac{n \cdot z}{60}, \text{ Гц.}$$

лопаточные частоты зависят от числа лопаток направляющего аппарата и частоты вращения рабочего колеса так как воспринимаются им

$$f_{лоп} = \frac{n \cdot z_0}{60}, \text{ Гц.}$$

В этих выражениях: n - частота вращения рабочего колеса, мин^{-1} ; z - число лопастей рабочего колеса; z_0 - число лопаток направляющего аппарата.

У поворотных-лопастных гидротурбин, которые работают на комбинаторных режимах, жгутовые пульсации давления не возникают. Однако при пуске ПЛ гидротурбин и эксплуатации их на пониженных нагрузках встречаются режимы, которые не входят в диапазон комбинаторных. Это объясняется, прежде всего, ограничением хода поршня сервомотора у механизма поворота лопастей в диапазоне малых (отрицательных) углов установки из конструктивных соображений. В результате этих обстоятельств поворотных-лопастные гидротурбины могут работать в пропеллерных режимах. Поэтому исследование пульсационных характеристик на пропеллерных режимах оправдано.

Вопрос экспериментального исследования пульсаций давления в проточной части поворотных-лопастной гидротурбины наиболее полно представлен в периодической печати в работе [3]. Здесь проведен анализ возмущающих сил в потоке, приводящих к пульсациям давления. В общем случае пульсации в потоке вызываются не стационарностью полей скоростей и давлений, обусловленной:

- а) турбулентностью потока;
- б) неравномерным подводом воды спиральной камерой и отводом потока отсасывающей трубой;
- в) наличием колонн статора и лопаток направляющего аппарата;
- г) вихреобразованием при обтекании элементов конструкции гидротурбины;
- д) кавитационными явлениями;
- е) переходными режимами.

В работе хорошо раскрыта причина возникновения пульсаций с оборотной частотой, которая заключается в наличии пика неравномерности потока поступающего со спиральной камеры.

Также убедительно рассмотрен механизм возникновения пульсаций с лопаточной частотой, как результат взаимодействия рабочего колеса с неравномерным по шагу потоком за направляющим аппаратом.

Пульсации давления с лопаточной частотой объясняются кавитационными явлениями и шаговой неравномерностью потока за рабочим колесом. Амплитуда пульсаций зависит от режима работы турбины и расстояния от рассматриваемой точки до лопасти рабочего колеса.

Обсуждение результатов тестирования. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием большого количества датчиков давления, установленных в различных местах проточной части, что позволило проанализировать уровни пульсаций в подводящих органах, камере рабочего колеса и в отсасывающей трубе. Исследования пульсаций проведены в режимах, охватывающих значительную часть поля универсальной характеристики турбины при изменении угла установки лопастей от $-11,5^{\circ}$ до $+20^{\circ}$ и при $n_1 = 120 \div 157 \text{ мин}^{-1}$. В большинстве сечений проточной части колебания давления имеют достаточно сложный, но периодический характер. Наибольший интерес для нас

представляют результаты измерения пульсаций в камере рабочего колеса и во входном диффузоре отсасывающей трубы. Здесь зафиксированы в основном пульсации с лопаточной и оборотной частотой. Максимальная амплитуда наблюдается на лопаточной частоте. Максимальные амплитуды пульсаций давления зарегистрированы на стенках рабочей камеры на оси поворота лопастей. Последнее объясняется тем, что датчик, установленный в камере рабочего колеса, фиксирует изменение давления, соответствующее перепаду давления на рабочей и тыльной сторонах периферийного профиля лопасти при ее прохождении мимо точки установки датчика.

Так, по данным натурных испытаний гидроагрегата №13 Волжской ГЭС (ПЛ 587-ВВ-930) на режиме $N_a = 75 \text{ МВт}$ ($n_1 = 123$, $Q_1 = 695$, $H = 26,72$), максимальная двойная амплитуда колебаний давления на стенке камеры рабочего колеса составляла 109%. Модельные испытания этой гидротурбины (ПЛ 587-100) показали уровень пульсаций 95,5%. На (Рис.1) приведены результаты измерения пульсаций давления в нескольких поясах рабочей камеры модельной гидротурбины: 2-й пояс - зона входа потока в рабочее колесо; 3-й пояс - ось поворота лопастей; 4-й пояс - зона выхода потока с рабочего колеса; 5-й пояс - под рабочим колесом.

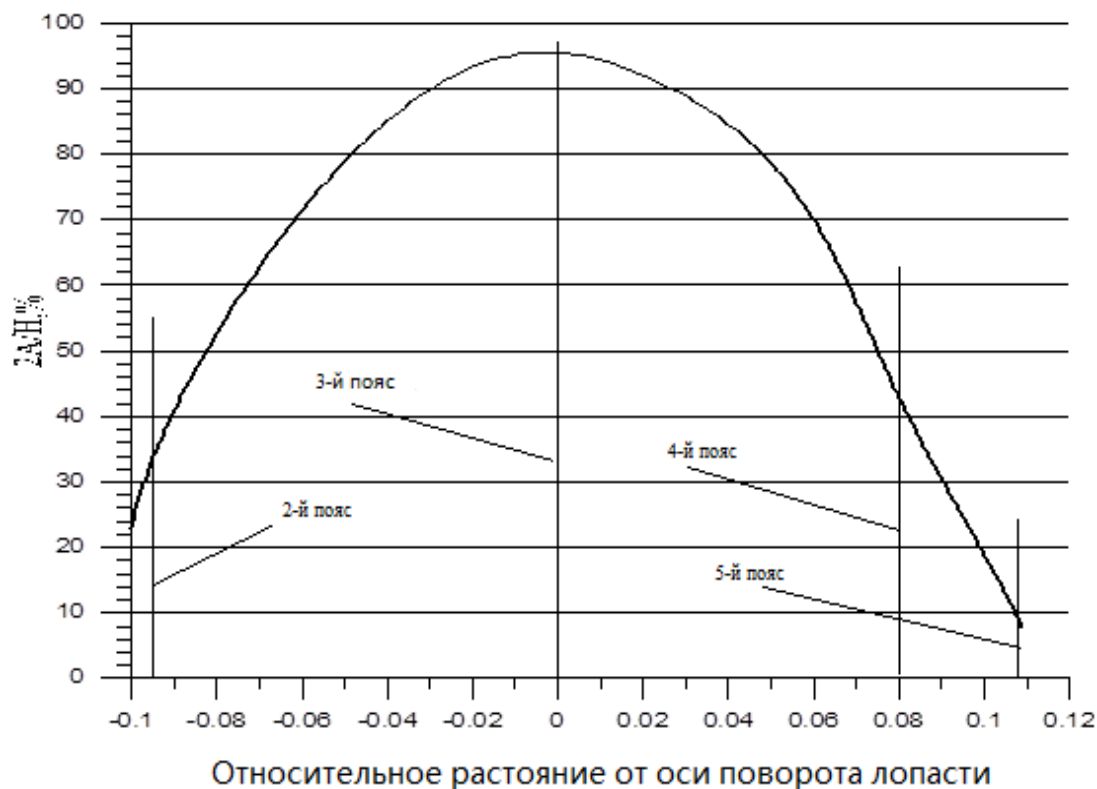


Рис. 1 Уровень пульсаций давления в камере рабочего колеса гидротурбины

ПЛ 587-100 на режиме: $n_1 = 141,8 \text{ мин}^{-1}$; $Q_1 = 1163 \text{ л/с}$; $\varphi = +5$

Аналогичные результаты получены во время испытаний модельных гидротурбин Саратовской ГЭС (ПЛ 661-46) [8]. Пульсации давления в камере

рабочего колеса на оси поворота лопастей на комбинаторных режимах достигают 98,8 %.

Приведенные примеры пульсаций давления в камере рабочего колеса дают основание сделать выводы об актуальности задачи, которая рассматривается и необходимость проведения теоретических исследований

Исследована зависимость пульсационных характеристик от режима работы гидротурбины. Отмечается увеличение интенсивности пульсаций с увеличением расхода. Изменение приведенных частот вращения рабочего колеса не вызывает существенного изменения пульсаций давления. Регулирование напора на испытательных стендах путем изменения горизонта нижнего бьефа в камере противодействия не позволяет выявить четкой зависимости амплитуд пульсаций от действующего напора. Однако рассмотрение материалов показывает, что уровень интенсивности пульсаций на лопастной частоте в камере р.к. и во входном диффузоре отсасывающей трубы почти не зависит от отметки нижнего бьефа. Так как пульсационные испытания проводились при комбинаторных режимах, сведений о жгутовых пульсациях в рассмотренной работе нет.

В работы [7] на основании анализа результатов модельных и натурных испытаний Волжской и Саратовской гидроэлектростанций рекомендует для

предварительных расчетов поворотно-лопастных гидротурбин принимать следующие значения пульсаций давления:

а) в спиральной камере 5 – 10%; б) в камере рабочего колеса 100%; в) в вертикальной части отсасывающей трубы 15 – 20%; г) в горизонтальной части отсасывающей трубы 5 – 15%.

В работе [5] представлены материалы экспериментального исследования пульсаций давления в РО и ПЛ гидротурбинах. Здесь автора в большей мере интересовали низкочастотные жгутовые пульсации, поэтому большее внимание уделялось анализу результатов испытания РО гидротурбин и ПЛ гидротурбин в пропеллерном режиме, где этот вид пульсаций является преобладающим. Установлено качественное совпадение пульсационных характеристик этих гидротурбин.

На комбинаторных режимах работы гидротурбины ПЛ 548 в работе [4] зарегистрированы пульсации сравнительно небольшой интенсивности, которые по мнению автора носят беспорядочный характер и, поэтому, им не анализируются. Представленные в работе данные обработаны нами и приведены в виде изолиний пульсаций в поле универсальной характеристики, приведенной на (Рис. 2).

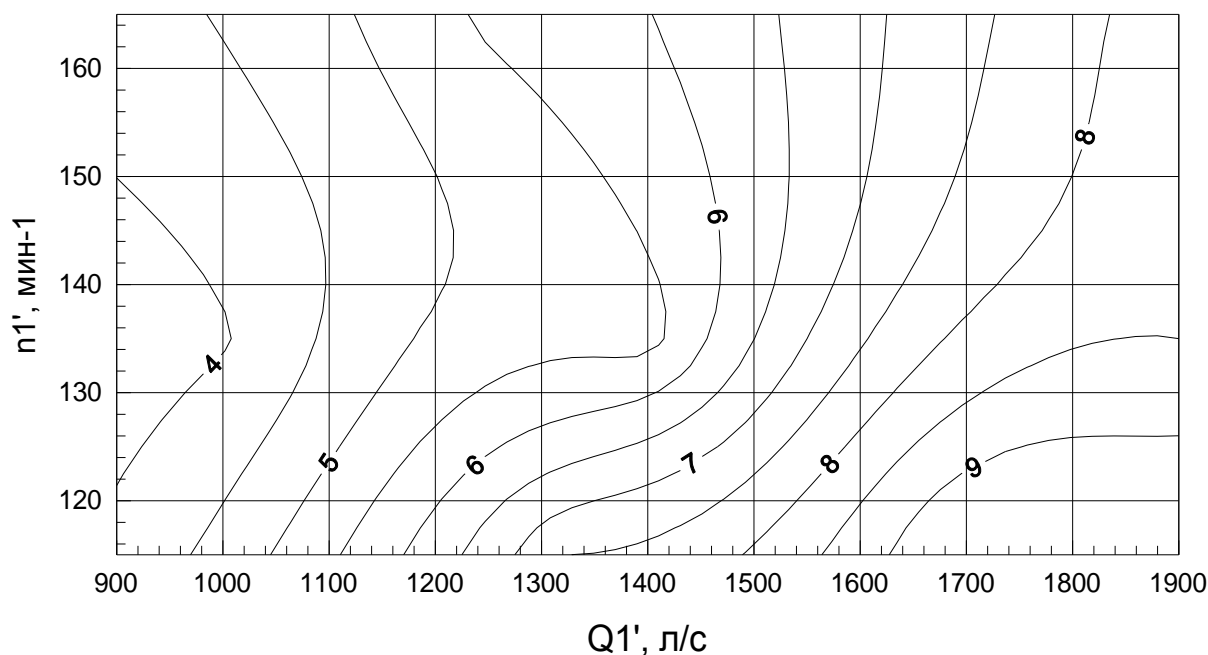


Рис.2 - Пульсационная характеристика гидротурбины ПЛ 30 на комбинаторных режимах

В таком виде данные эксперименты лучше поддаются анализу и представляют для нас определенный интерес. Становится очевидным, что эта характеристика согласуется с данными приведенными в работе [3], амплитуды лопастных пульсаций давления увеличиваются с увеличением расхода.

Данная экспериментальная исследования на модельных гидротурбинах выполнялись на кафедре гидромашин Харьковского национального технического университета «ХПИ», и на гидравлическом стенде в АО «Турбоатом» и на натурной гидротурбины выполнялась во Волжской ГЭС на гидроагрегате №13. Гидротурбинная лаборатория

АО «Турбоатом» является одной из крупнейших среди ведущих гидромашиностроительных фирм мира как по оснащенности экспериментальным, измерительным и вычислительным оборудованием, так и по возможности выполнения научно-исследовательских работ в области гидротурбостроения. В состав лаборатории входят шесть крупных гидравлических стендов для отработки энергетических, кавитационных, силовых, пульсационных и других специальных характеристик гидромашин и затворов.

На (Рис.3) приведены результаты измерения уровня пульсаций давления в отсасывающей трубе

одной из модельных поворотно-лопастных гидротурбин на комбинаторных режимах [6].

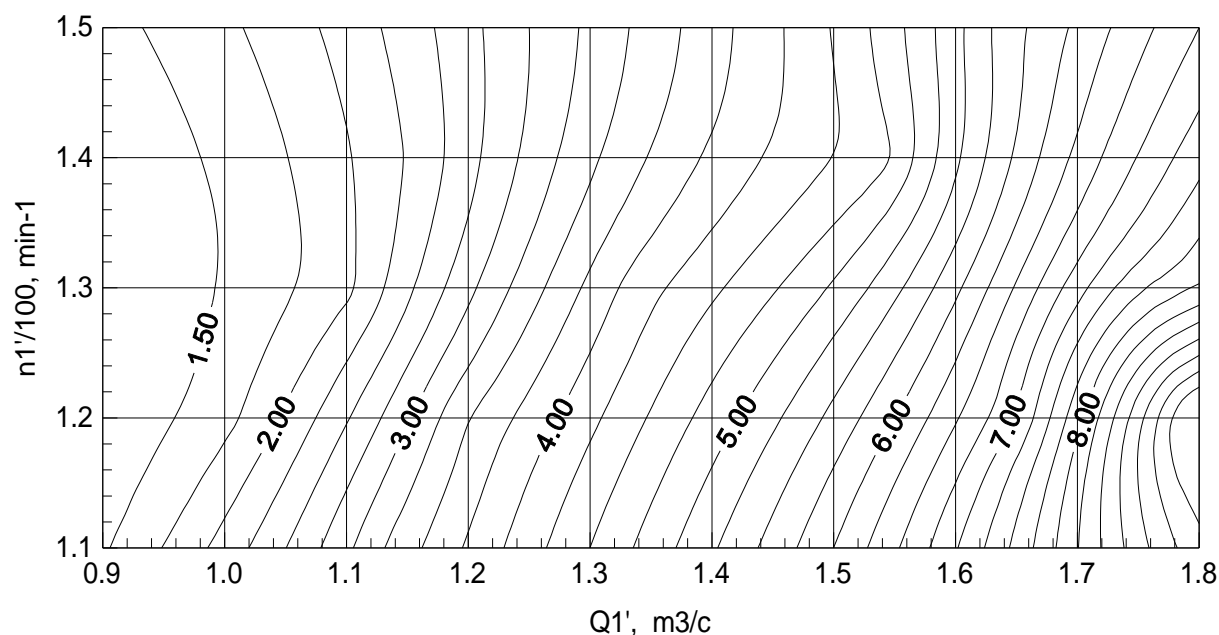


Рис. 3 Пульсационная характеристика модельной гидротурбины ПЛЗ0/3169-25

Из анализа приведенной характеристики можно отметить основные закономерности процесса пульсаций давления в поворотно-лопастной гидротурбине при комбинаторных режимах - преимущественное влияние расхода (угла установки лопастей). На этих режимах преобладающими являются пульсации с лопастной частотой.

Выводы. При использовании поворота-лопастной гидротурбины с его пульсационной характеристикой и на основании полученных данных рассчитывали основную критерию эффективности, с сопоставлением расчётных значений с нормативными. В результате этого сопоставления можно судить о приемлемости или неприемлемости проекта, т.е. когда $T_{возвр.} \leq T_{расч.}$, то можно прийти к выводу о том, что средства будут возвращены за 1,6 года. Проведённые исследования показали, что дальнейшее усовершенствование проточной части высоконапорной гидротурбины требует получения более точной информации о влиянии геометрических параметров на энергетические показатели. Знание таких закономерностей дает возможность решить задачу оптимизации выбора основных геометрических параметров элементов проточной части на стадии её проектирования.

Список литературы:

1. Бондаренко А.В., Гришин А.М., Низкочастотные пульсации давления в гидротурбинах, индуцированные вихревым жгутом. Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2013. – № 12(986). – С. 139-144. – Бібліогр.: 2 назв. – ISSN 2078-774X.

2. Владиславлев Л.А., Вибрация гидроагрегатов гидроэлектрических станций. Изд-во «Энергия». М., 1972 г. 176 с.

3. Заворуев В.П., Саркисова М.Ф., Иванов И.И. Исследование пульсаций давления в проточной части поворотнолопастной гидротурбины. Труды Гидропроекта, сб. 7. М, Гидропроект, 1962. с 9-29.

4. Исаев Ю.М., Исследование пульсирующих давлений в отсасывающих трубах гидравлических турбин на моделях. Труды координационных совещаний по гидротехнике. вы 7. 22, ЛПИ., Изд-во «Энергия» 1965. с 168-178.

5. Орго В.М., Основы конструирования и расчета на прочность гидротурбин. Л.: Машиностроение, 1978.

6. Отчет о научно-исследовательской работе, "Исследование нестационарных процессов в проточной части осевых гидротурбин и обратимых гидромашин с разработкой гидродинамических методов расчета". Часть 2. Харьков 1986. с. 11-16.

7. Руссо Г.А., Основы расчета гидротехнических сооружений на действие динамических нагрузок. Труды Гидропроекта. Сб. 7. М. Гидропроект 1962. с 261-296.

8. Саркисова М.Ф., Исследования по выбору оптимальной проточной части вертикальных гидротурбин Саратовской ГЭС. Труды координационных совещаний по гидротехнике. вып. 22, ЛПИ., Изд-во «Энергия» 1965. с 99-111.

9. Федор Я. Нестерук., Энергетическая, атомная, транспортная и авиационная техника, космонавтика. Издат. Наука, 1969

Maklakova S. N.

associate Professor of the Department "Building constructions",
FSBEI HPE "Kostroma agricultural Academy"

Galkina M. A.

graduate student, senior lecturer
department of resistance of materials and graphics
FSBEI HPE "Kostroma agricultural Academy"

Molodkina O. A.

master's degree student of the 2nd year of study
FSBEI HPE "Kostroma agricultural Academy"

Evseeva T. M.

master's degree student of the 2nd year of study
FSBEI HPE "Kostroma agricultural Academy"

DEFINITION OF LINEAR MOTION WHEN CALCULATING THOSE CONCRETE ELEMENTS ON THE STIFFNESS

Маклакова Светлана Николаевна

доцент, кафедра строительных конструкций
ФГБОУ ВПО «Костромская сельскохозяйственная академия»

Галкина Марина Александровна

аспирант, старший преподаватель
кафедра сопротивления материалов и графики
ФГБОУ ВПО «Костромская сельскохозяйственная академия»

Молодкина Ольга Александровна

магистрантка 2-го года обучения
ФГБОУ ВПО «Костромская сельскохозяйственная академия»

Евсеева Татьяна Михайловна

магистрантка 2-го года обучения
ФГБОУ ВПО «Костромская сельскохозяйственная академия»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЖЕСТКОСТЬ

Annotation

The aim of this work is to clarify the method of calculating the characteristics of strength, which will provide higher reliability used in the design of quantitative values of the ultimate resistance of the materials used. As concrete is a very brittle material has em cause of the destruction limit of the linear deformation occurring in the areas that can be identified by a current or former experimental ways. In article variants of calculation of movements of sections which are dangerous for a beam are made. Proposed by Professor Abramov L. M. the method of determining displacements allows to more accurately determine the deformation criterion, which increases the reliability of the calculated characteristics.

Аннотация

Целью данной работы является уточнение методики расчета характеристик прочности, что обеспечит более высокую надежность используемых при проектировании количественных значений предельных сопротивлений используемых материалов. Бетон как весьма хрупкий материал имеет причиной разрушения предельные линейные деформации, возникающие по тем направлениям, которые могут быть определены расчетным или экспериментальным путями.

В статье произведены варианты расчета перемещений сечений, которые являются для балки опасными. Предложенная профессором Абрамовым Л.М. методика определения перемещений позволяет более точно определить деформационный критерий, что повышает надежность расчетных характеристик.

Keywords: displacement, deformation, power section, rigidity, strength, beam.

Ключевые слова: перемещение, деформация, силовой участок, жесткость, прочность, балка.

Расчёт на жесткость строительных элементов нормами рекомендован как один из основных видов расчёта по второй группе предельных состояний. Его выполняют, проверяя выполнения условия неравенства:

$$f \leq f_{ult} \quad (1)$$

Нормами рекомендовано для случаев, когда прогибы железобетонных элементов зависят в основном от изгибных деформация, определять их по формуле:

$$f = \int_0^l \overline{M}_x \left(\frac{1}{r} \right)_x dx \quad (2)$$

Однако, поскольку проектировщика интересует не прогиб в произвольном сечении, а максимальный прогиб элемента, то условие (1) следует преобразовать к виду:

$$f_{\max} \leq f_{\text{ult}} \quad (3)$$

Кроме того, использование выражения (2) возможно только для однопролётных балок, имеющих один участок, на котором аналитические выражения для изгибающего элемента может быть записано в однозначном детерминированном выражении. Во всех остальных случаях выражение (2) следует использовать в виде интегралов Мора:

$$f = \sum_{i=1}^n \int_{l_i} \frac{M_{xi} M_{xi}^1}{EI_x} dx \quad (4)$$

При этом величина « f » однозначно может быть определена только в том сечении рассматриваемого элемента, в котором приложена единичная сила. И это, безусловно, не означает, что в этом сечении прогиб элемента будет максимальным, так же как не означает и то, что кривизна упругой линии (центральной оси элемента) будет максимальной в том сечении, где возникает максимальный изгибающий момент.

Безусловно, разбив рассчитываемый элемент на участки по соответствующим правилам разбивки, можно построить кривую прогибов и по ней определить максимальное значение прогиба для всего рассматриваемого элемента.

Но аналитически задачу можно решить проще, используя универсальные уравнения прогибов и углов поворота сечений многоопорного железобетонного элемента.

Записав для рассматриваемой упругой системы 2 уравнения, определив постоянные интегрирования, используя граничные условия можно найти все координаты « x » сечений, в которых имеют место экстремальные значения прогибов. Выбрав по абсолютной величине максимальный прогиб, можно записать условие жесткости в форме (3), что и является решением поставленной задачи расчета на жесткость.

Рассмотрим решение данного вопроса с применением 2 способов определения перемещений в статически определимых балках.

Способ Верещагина: интеграл перемножения двух функций, ограничивающих эпюры, причем одна из которых представляет собой прямую линию, а другая является криволинейной, равен произведению площади фигуры криволинейной эпюры, на ординату из эпюры, ограниченной прямой линией, которую берут под центром тяжести площади эпюры, ограниченной произвольной линией.

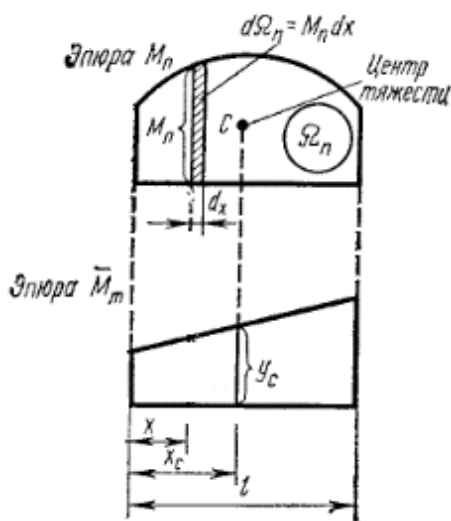


Рис. 1. Определение перемещений способом Верещагина

Выражение интегрирование запишется в виде:

$$\int_0^L \overline{Mm} \cdot Mndx = \Omega n \cdot y_c$$

Соответственно, перемещение:

$$\Delta mn = \frac{\Omega n \cdot y_c}{E \cdot J}$$

Для решения задачи будем рассматривать бетонную балку размерами 100×100×400 мм, выполненную из двух наиболее распространенных марок бетона В15 и В30 при двух самых частых вариантах загрузения балки.

I вариант:


Рис.2 Расчетная схема

Решение:

Рассмотрим равновесие балки. Изобразим действующие на балку силы. Для полученной плоской системы сил составим три уравнения равновесия для определения реакции опор.

$$\begin{aligned} \sum Y = 0: R_A - F + R_B &= 0 \\ \sum M_a = 0: -F \cdot 0.1 + R_B \cdot 0.4 &= 0 \\ R_B &= \frac{F \cdot 0.1}{0.4} = 2.5 \text{ кН} \\ R_A = F - R_B &= 10 - 2.5 = 7.5 \text{ кН} \end{aligned}$$

Разбиваем нашу балку на 2 участка, как показано на рис.2 и находим значения поперечной силы и момента в каждом сечении:

I участок:

$$\begin{aligned} Q_1 &= R_A = 7.5 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.1 \\ M_1 &= -R_A \cdot x_1; \\ M_{1(x_1=0)} &= -7.5 \cdot 0 = 0 \text{ кНм}; M_{1(x_1=0.1)} = -7.5 \cdot 0.1 = -0.75 \text{ кНм} \end{aligned}$$

II участок:

$$\begin{aligned} Q_2 &= -F + R_A = -2.5 \text{ кН}, 0 \leq x_2 < 0.3 \\ M_2 &= -R_A \cdot (0.1 + x_2) + F \cdot x_2; \\ M_{2(x_2=0.1)} &= -7.5 \cdot (0.1 + 0) + 10 \cdot 0 = -0.75 \text{ кНм}; \\ M_{2(x_2=0.3)} &= -7.5 \cdot (0.1 + 0.3) + 10 \cdot 0.3 = 0 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Покажем полученные значения на эпюрах Q и M.

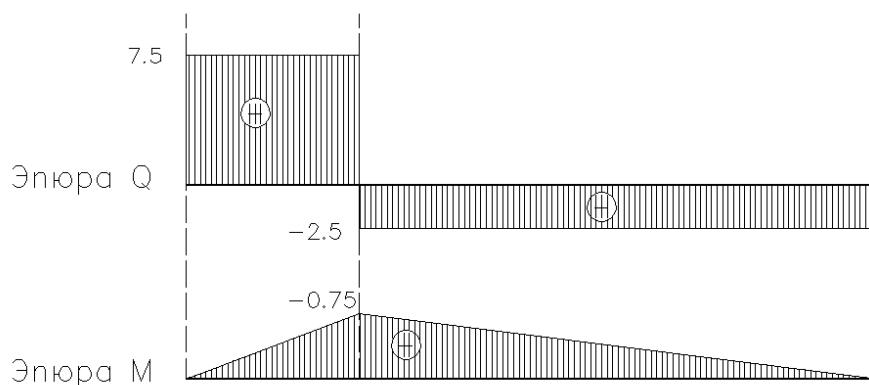


Рис. 3 Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Первая система включает все реальные нагрузки, а вторая система включает только единичную нагрузку, которая действует на конструкцию. Единичная нагрузка представляет собой фиктивную или искусственно введённую нагрузку, которая позволяет определить перемещение Δ конструкции при действии реальных нагрузок. Единичная нагрузка прикладывается в той точке конструкции, перемещение в которой определяем, и действует в направлении искомого перемещения. Рассмотрим вторую систему на представленной выше балке.



Рис.4 Загружение единичной нагрузкой

Рассмотрим равновесие балки. Изобразим действующие на балку силы. Для полученной плоской системы сил составим три уравнения равновесия для определения реакции опор.

$$\begin{aligned} \sum Y = 0: R_A - P + R_B &= 0 \\ \sum M_a = 0: -P \cdot 0.1 + R_B \cdot 0.4 &= 0 \\ R_B &= \frac{P \cdot 0.1}{0.4} = 0.25 \text{ кН} \\ R_A = P - R_B &= 1 - 0.25 = 0.75 \text{ кН} \end{aligned}$$

Разбиваем нашу балку на 2 участка и находим значения Q и M в каждом сечении:

I участок:

$$\begin{aligned} Q_1 &= R_A = 0.75 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.1 \\ M_1 &= -R_A \cdot x_1; M_{1(x_1=0)} = -0.75 \cdot 0 = 0 \text{ кНм}; \\ M_{1(x_1=0.1)} &= -0.75 \cdot 0.1 = -0.075 \text{ кНм} \end{aligned}$$

II участок:

$$\begin{aligned} Q_2 &= -P + R_A = -0.25 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.3 \\ M_2 &= -R_A \cdot (0.1 + x_2) + P \cdot x_2; \\ M_{2(x_2=0.1)} &= -0.75 \cdot (0.1 + 0) + 1 \cdot 0 = -0.075 \text{ кНм}; \\ M_{2(x_2=0.3)} &= -0.75 \cdot (0.1 + 0.3) + 1 \cdot 0.3 = 0 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Покажем полученные значения на эпюрах Q и M.

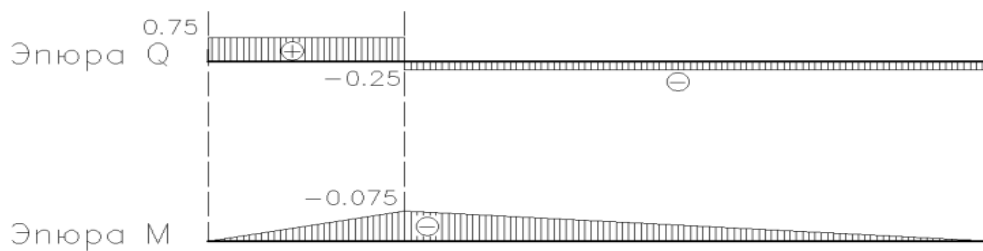


Рис.5 Эпюры внутренних усилий от действия единичной нагрузки

Определяем проекции центров тяжести фигур эпюры изгибающих моментов

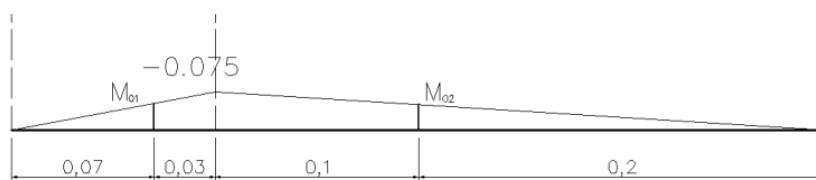


Рис.6 Схема для определения проекций центров тяжести

$$M_{01} = 0.002 \quad M_{02} = 0.003$$

Находим площади треугольников, полученных при построении эпюры от реальных нагрузок:

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot 0.1 \cdot 7.5 = 0.0375 \text{ м}^2$$

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 0.3 \cdot 7,5 = 0.1125 \text{ м}^2$$

Перемещение в заданной точке равно:

$$y = \frac{1}{EI} ((0.0375 \cdot 0.0525) + (0.1125 \cdot 0.125)) = \frac{0.005}{EI} \text{ (м)}$$

Так как балка размерами 100×100×400 мм, то находим момент инерции I для квадратного сечения $I = \frac{a^4}{12} = \frac{0.1^4}{12} = 8.3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$

- для бетона В15 $E=23 \cdot 10^3 \text{ у}$ $y = \frac{0.005}{EI} = \frac{0.005}{23 \cdot 10^3 \cdot 8.3 \cdot 10^{-6}} = 0.026 \text{ м}$
 - для бетона В30 $E=32 \cdot 10^3 \text{ у}$ $y = \frac{0.005}{EI} = \frac{0.005}{32 \cdot 10^3 \cdot 8.3 \cdot 10^{-6}} = 0.019 \text{ м}$

2 вариант:

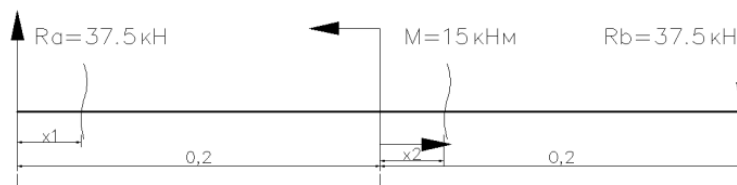


Рис.7 Расчетная схема

Решение:

Рассмотрим равновесие балки. Изобразим действующие на балку силы. Для полученной плоской системы сил составим три уравнения равновесия для определения реакции опор.

$$\sum Y = 0: R_A - R_B = 0$$

$$\sum M_a = 0: M - R_B \cdot 0.4 = 0$$

$$R_B = \frac{M}{0.4} = 37.5 \text{ кН}$$

$$R_A = R_B = 37.5 \text{ кН}$$

Разбиваем нашу балку на 2 участка, как показано на рис.7 и находим значения поперечной силы и изгибающего момента в каждом сечении:

I участок:

$$Q_1 = R_A = 37.5 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.2$$

$$M_1 = -R_A \cdot x_1;$$

$$M_{1(x_1=0)} = -7.5 \cdot 0 = 0 \text{ кНм};$$

$$M_{1(x_1=0.2)} = -37.5 \cdot 0.2 = -7.5 \text{ кНм}$$

II участок:

$$Q_2 = R_A = 37.5 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.2$$

$$M_2 = -R_A \cdot (0.2 + x_2) + M;$$

$$M_{2(x_2=0.1)} = -37.5 \cdot (0.2 + 0) + 15 = 7.5 \text{ кНм};$$

$$M_{2(x_2=0.3)} = -37.5 \cdot (0.2 + 0.2) + 15 = 0 \text{ кНм}$$

Покажем полученные значения на эпюрах Q и M.

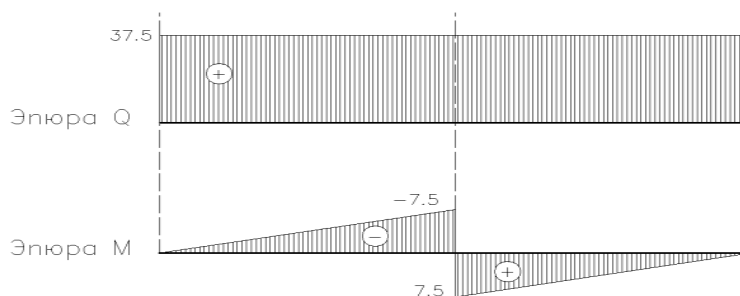


Рис.8 Эпюры внутренних усилий

Первая система включает все реальные нагрузки, а вторая система включает только единичную нагрузку, которая действует на конструкцию. Единичная нагрузка представляет собой фиктивную или искусственно введённую нагрузку, которая позволяет определить перемещение Δ конструкции при действии реальных нагрузок. Единичная нагрузка прикладывается в той точке конструкции, перемещение в которой определяем, и действует в направлении искомого перемещения. Рассмотрим вторую систему на представленной выше балке.

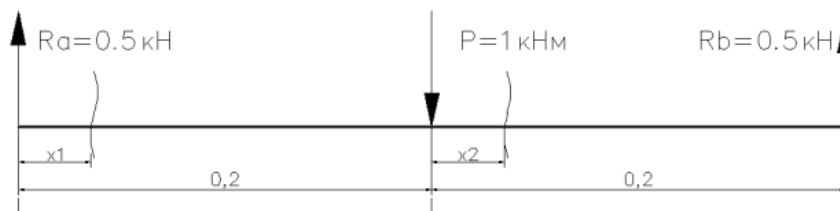


Рис.9 Загружение единичной нагрузкой

Рассмотрим равновесие балки. Изобразим действующие на балку силы. Для полученной плоской системы сил составим три уравнения равновесия для определения реакции опор.

$$\begin{aligned} \sum Y = 0: R_A - P - R_B &= 0 \\ \sum M_a = 0: -P \cdot 0.2 + R_B \cdot 0.4 &= 0 \\ R_B &= \frac{-P \cdot 0.2}{0.4} = -0.5 \text{ кН} \\ R_A &= -R_B = 0.5 \text{ кН} \end{aligned}$$

Разбиваем нашу балку на 2 участка находим значения Q и M в каждом сечении:

I участок:

$$\begin{aligned} Q_1 &= R_A = 0.5 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.2 \\ M_1 &= -R_A \cdot x_1; M_{1(x_1=0)} = -0.5 \cdot 0 = 0 \text{ кНм}; \\ M_{1(x_1=0.2)} &= -0.5 \cdot 0.2 = -0.1 \text{ кНм} \end{aligned}$$

II участок:

$$\begin{aligned} Q_2 &= R_A = 0.5 \text{ кН}, 0 \leq x_1 < 0.2 \\ M_2 &= -R_A \cdot (0.2 + x_2) + P \cdot x_2; \\ M_{2(x_2=0.1)} &= -0.5 \cdot (0.2 + 0) + 1 \cdot 0 = 0.1 \text{ кНм}; \\ M_{2(x_2=0.3)} &= -0.5 \cdot (0.2 + 0.2) + 1 \cdot 0.2 = 0 \text{ кНм} \end{aligned}$$

Покажем полученные значения на эпюрах Q и M .

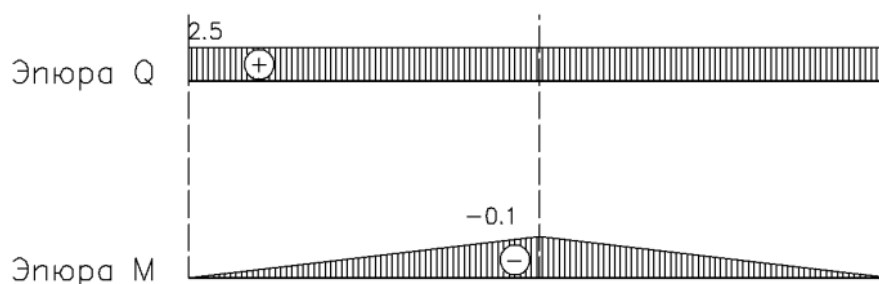


Рис.10 Эпюры внутренних усилий от действия единичной нагрузки

$$M_{01} = M_{02} = 0.066$$

Определяем значения момента под центрами тяжести двух полученных треугольников:

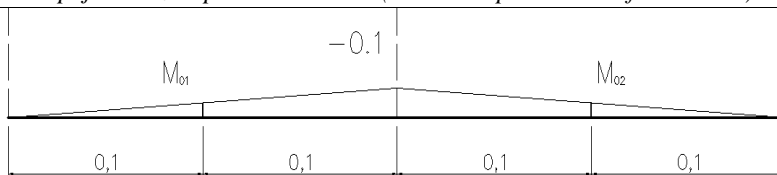


Рис.11 Схема для определения проекций центров тяжести

Находим площади треугольников, полученных при построении эпюры от реальных нагрузок: $\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot 0.2 \cdot (-7,5) = -0.75 \text{ м}^2$ $\omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 0.2 \cdot 7,5 = 0.75 \text{ м}^2$

Перемещение будет равно:

$$y = \frac{1}{EI} (-0.066 \cdot 0.75) + (0.066 \cdot 0.75) = \frac{0}{EI} = 0$$

Из всего вышесказанного можно увидеть, что при втором варианте схемы загрузки балки мы не получаем перемещения в данном сечении.

Метод Максвелла-Мора

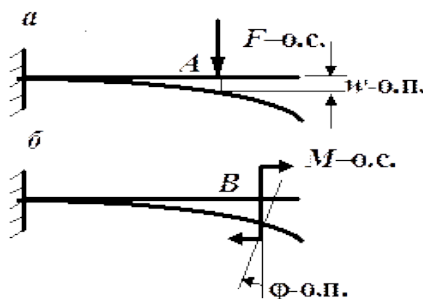


Рис. 12. Схемы для определения обобщенных перемещений

Запишем приближенную формулу Максвелла – Мора, которая используется для определения перемещений в изгибаемых плоских стержневых системах и не учитывает влияния на перемещения продольной и поперечной сил:

$$\delta_i = \int \frac{M \cdot M_i}{EI} dx \quad (5)$$

Чтобы воспользоваться формулой Максвелла – Мора, надо:

- 1) определить изгибающий момент на каждом участке от заданной нагрузки;
- 2) освободить конструкцию от заданной нагрузки и загрузить ее единичной обобщенной силой, соответствующей искомому перемещению
- 3) подставить произведение изгибающих моментов от нагрузки и от единичной обобщенной силы в интеграл и проинтегрировать по всей длине конструкции.

1 вариант:



Рис.13 Расчетная схема

Решение:

Рассмотрим вторую систему на представленной выше балке

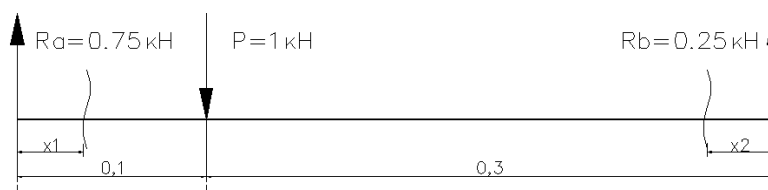


Рис.14 Загружение единичной нагрузкой

$$\begin{aligned} \text{Перемещение в заданной точке будет равно: } y &= \frac{1}{EI} \left(\int_0^{0.1} (M_{p1} \cdot M_{01}) dx + \int_0^{0.3} (M_{p2} \cdot M_{02}) dx \right) = \\ &= \frac{1}{EI} \left(\int_0^{0.1} (7.5x_1 \cdot 0.75x_1) dx + \int_0^{0.3} (2.5x_2 \cdot 0.25x_2) dx \right) = \frac{1}{EI} \left(\int_0^{0.1} (5.625x_1^2) dx + \int_0^{0.3} (0.625x_2^2) dx \right) = \\ &= \frac{5.625x_1^3}{3EI} \Big|_0^{0.1} + \frac{0.625x_2^3}{3EI} \Big|_0^{0.3} = \frac{0.0075}{2EI} \end{aligned}$$

Находим момент инерции для квадратного сечения:

$$\begin{aligned} I &= \frac{a^4}{12} = \frac{0.1^4}{12} = 8.3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4 \\ \text{- для бетона В15 } E &= 23 \cdot 10^3 \text{ у} = \frac{0.0075}{EI} = \frac{0.0075}{23 \cdot 10^3 \cdot 8.3 \cdot 10^{-6}} = 0.039 \text{ м} \\ \text{- для бетона В30 } E &= 32 \cdot 10^3 \text{ у} = \frac{0.0075}{EI} = \frac{0.0075}{32 \cdot 10^3 \cdot 8.3 \cdot 10^{-6}} = 0.028 \text{ м} \end{aligned}$$

2 вариант:

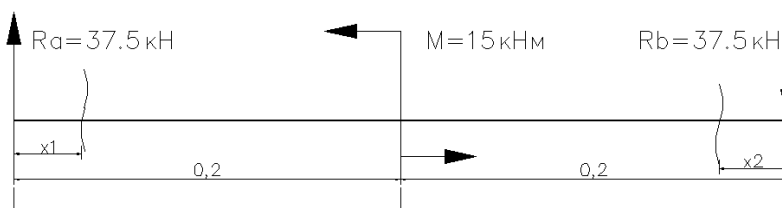


Рис.15 Расчетная схема

Рассмотрим вторую систему на представленной выше балке.

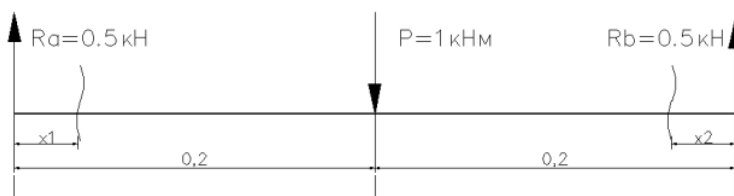


Рис.16 Загружение единичной нагрузкой

Перемещение в заданной точке равно:

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{EI} \left(\int_0^{0.1} (M_{p1} \cdot M_{01}) dx + \int_0^{0.3} (M_{p2} \cdot M_{02}) dx \right) = \frac{1}{EI} \left(\int_0^{0.1} (37.5x_1 \cdot 0.5x_1) dx + \int_0^{0.3} (-37.5x_2 \cdot 0.5x_2) dx \right) \\ &= \frac{1}{EI} (0) \end{aligned}$$

Основные выводы

1. Предлагаемая нормами методика прогибов железобетонных многоопорных балочных систем не позволяет установить максимальные значения прогибов упругого элемента, т.к. не позволяет установить координаты сечений, в которых прогибы имеют максимальные значения.

2. Использование интегралов Мора для определения перемещений сечений балок позволяет получить дискретные значения перемещений, но не позволяет находить координаты сечений, получивших наибольшие (в том числе максимальные) перемещения.

3. Применение универсальных уравнений прогибов и углов поворота позволяет кратко и до-

статочно просто решить задачу определения координат сечений с наибольшими перемещениями, а также решить задачу нахождения максимального из возможных перемещений. Таким образом, предлагаемая методика расчета отличается значительной простотой, минимальным уровнем счета, а главное, позволяет учитывать именно максимальные прогибы.

Список использованной литературы

1. СП52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры. М. - Госстрой России. - 29с.
2. Абрамов Л.М. К вопросу расчета элементов железобетонных конструкций на жесткость по линейным деформациям/Л.М.Абрамов, И.Л.Абрамов, Д.А.Новиков//М.:Ладыя, «Бетон и железобетон», 2009 №6. -18-21с.
3. Абрамов Л.М. Методика определения линейных перемещений сечений железобетонных элементов/Л.М.Абрамов, Д.А.Новиков//Труды международной научно-практической конференции «Строительство-2009», Ростовский гос. ун-т, Р.-н-Д.-2009.

Dzyuba N.A.

PhD, associate professor

*of the department of technology restaurant and health food
Odessa National Academy of Food Technologies Odessa*

Zemlyakova O.V.

*assistant of the department of technology restaurant and health food
Odessa National Academy of Food Technologies Odessa*

Oliynik M.I.

master course

*of the department of technology restaurant and health food
Odessa National Academy of Food Technologies Odessa*

COLLAGEN HYDROLYZATE AS COMPONENT OF FOODSTUFFS OF HEALTH NUTRITION

Дзюба Н.А.

Кандидат медицинских наук,

*доценткафедры технологии ресторана и здорового питания
Одесская национальная академия пищевых технологий Одесса*

Землякова О.В.

*ассистент кафедры технологии ресторана и здорового питания
Одесская национальная академия пищевых технологий Одесса*

Олийник М.И.

мастер-курс

*кафедры технологии ресторана и здорового питания
Одесская национальная академия пищевых технологий Одесса*

ГИДРОЛИЗАТ КОЛЛАГЕНА КАК КОМПОНЕНТ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ ЗДОРОВЬЯ

Summary: The article deals with modern approaches to the development of technologies for obtaining hydrolyzates. Collagen hydrolyzate is also considered as a source for the treatment of diseases associated with joint pains. The expediency of using collagen hydrolyzates for obtaining biologically valuable food products has been proved. Since proteins and polypeptides play a key role in the life of the organism. Scientific and practical interest in substances of protein nature is explained by the diversity of their functions in metabolic processes.

Key words: characterization, collagen hydrolyzate, collagen, isolation, nutrition

Problem statement. Permanent collagens exchange processes in our body takes place during the whole human life. Old fibrils are replace by new one all the time. When we are young, collagen production and degradation are in dynamic balance, but during maturation of tissues, degradation is being more intensive. UV radiation, smoking cigarettes, stress and unhealthy diet lead to the degradation of natural collagen structure and to earlier senility [1].

Modern lifestyle characterized with permanent lack of time results in consumption of a highly processed food which does not have any beneficial effect on our health. Inbalanced and incomplete diets

can be a reason of many diet depended diseases. If we care about healthy lifestyle, we have to include nutrient-rich food to our normal diet. Diet supplements are such kind of health beneficial substances which contain concentrated source of nutrients or other components causing positive physiological effects. Diet supplements are produced in the form of powder, capsules, powder in sachets, liquid in bottles with droppers or in other forms suitable for proper dosage. It is well recognized that diet supplements are not medicines and their use is not regulated by the pharmaceutical law [1].

Collagen plays an important "regulatory role" in the human body - the functioning of the connective tissue (the quality of structuring, ensuring the resilience and elasticity of tissues, preventing its dehydration, providing a reversal of the deeper layers of the skin and inducing its level, and it can also reduce metabolism and hormonal disorders [2].

The body must constantly go through the process of protein synthesis. Collagen, the structural units of which are amino acids, is formed by the splitting of proteins from food. The formation of proteins is suspended if at least one essential amino acid is missing. When shaping your diet, it is important to consume foods that increase collagen production.

For many years, collagen was considered insoluble in water and non-digestible. The reason for this is that the native collagen is not exposed to the trypsin contained in the gastric medium, however, it is hydrolyzed by the bacterial enzyme collagenase [3].

Generally, a collagen is used in cosmetics, biomedical and pharmaceutical industry [4, 5].

Also, collagen hydrolyzate is used in confectionery (to improve the structure and stabilization of foam), dairy products (as stabilizers and texture agents), bakery (to provide stabilization, emulsification and gelling), low-fat (to provide a reduction in fat, cream-like and taste sensations), in meat processing (to ensure water binding, for example, in ham), in winemaking and the production of fruit juices (as tonic) [6-9].

The source of collagen is, most often, waste from the food industry, because collagen is contained in the skin, tendons, cartilage, etc. For a long period, collagen of animal origin was used in all spheres. From the beginning of this century, the priority positions are transferred to collagen, separated from hydrobionts, most often, from the waste products of sea fish processing, so-called "marine collagen". It has a number of advantages over the analogue of animal origin. This, in the first place, has a more structural similarity with human collagen, which provides biocompatibility. The level of collagen absorption by the body of fish is 1.5 times higher than that of collagen derived from pig hides. Antigenicity, ability to biodegradation are important.

Fish collagen has a smaller molecular weight and size than cattle, which makes it possible to better absorb this protein. Therefore, it quickly enters the bloodstream, and then enters into each cell of the body. This leads to the synthesis of the necessary substance in the articular tissues, bones and skin.

Collagens consist of a high amount of glycine (about 33% amino acid residues), proline (12-14%), 4-hydroksyproline (<14%) and 4-hydroksylysine (1.5%) [1,10]. The last substance will not be fully assimilated, therefore its presence can be detected in the blood. Hydroxyproline stimulates the growth of skin cells, frontal lobes and bones, which results in the synthesis of collagen [11]. Tryptophan and cysteine were not noticed [1,12]. Fish collagen is also hypoallergenic, because it is 96% identical to human protei [1, 11, 13]. 10 g of collagen contains 9.4 g protein, 10 mg of sodium and a small amount of calcium, potassium, iron.

In such tissues as skin, bones, fins, the bulk of proteins of fish of the genetic nature are concentrated. The main advantage of collagen is the lack of toxicity and

carcinogenicity, weak antigenicity, high mechanical strength, resistance to enzymes, regulated lysis rate in the body, the ability to form complexes with chondroitin sulfate, glucosamine and other carbohydrates, stimulation of the regeneration of the body's own tissues [14].

Fish products play a major role in the rational food intake of millions of people worldwide. Therefore, the creation of new generation food products, based on marine hydrobionts having improved nutritional and biological value, is of great significance to accommodate the increasing demand for high-quality protein fish products. These types of foods, rich in essential components, are intended to replenish the amino acid and bioenergetic deficiencies of the organism. [15].

Actual scientific researches and issues analysis.

The extensive processing of industrial fish is accompanied by the formation of secondary resources, the scope of which is quite wide, but not fully used. The main direction of recycling of secondary fish resources is to obtain from them biologically valuable components whose physiological role is due to their ability to influence metabolic processes, to participate in the formation of tissues of the human body, to provide preventive action, to act as general restorative means.

Currently active search of new sources of raw materials and methods of their processing into high-quality food products is being conducted. Any industry in the processing industry always has the task of increasing the efficiency of the use of raw materials, reducing waste production, expanding the range and improving the quality of products. This is especially true for such valuable exhausting, but renewable when properly used raw materials as hydrobionts [16].

It is critical to underscore that at the moment interest in waste from the fish processing industry (glucosamine, chondroitin, polyunsaturated fatty acids, phospholipids, biocalcium, phosphorus, etc.) as a source of valuable biologically active substances does not weaken. In addition, secondary fish resources are valuable raw materials for obtaining various therapeutic and stimulating drugs, because they contain numerous bioactive components that have an immune-active property, the ability to normalize blood pressure, and to activate digestive processes.

A variety of technologies have been developed to obtain biologically valuable components, such as chondroitin sulfate and hexosamines from cartilage tissue hydrobionts, collagen and hyaluronic acid from fish skin, enzyme preparations from fish organs [17].

Identification of previously unsettled parts of the general problem. Collagen was previously thought to be a defective protein of low biological value, but these views have now been revised, as there have been studies that prove the biological value of proline and oxyproline contained in collagen proteins in large numbers (30% of the total the amount of amino acids), as well as the source of glycine (up to 30%). These proteins are the structural components of the articular and vascular tissues of man and the lack of proline and oxyproline contributes to the development of diseases of the musculoskeletal and cardiovascular systems. Despite the fact that collagen is the main protein of the joints, collagen inners have relatively recently started

to be used for the treatment of arthritis and arthrosis [18].

In humans, collagen comes from food after its heat treatment. Denatured kind of collagen is medicinal and food gelatin. Collagen proteins and gelatin under the action of enzymes of the gastrointestinal tract (GIT) can be cleaved to amino acids and polypeptides. The large length of the molecules and collagen fibrils having a relatively high molecular weight prevents their effective digestion. The collagen hydrolyzes, containing a set of amino acids and polypeptides, are more accessible to digestion in the human body. Getting into the blood of amino acids accumulate in connective tissues and cells. Hydrolyzed collagen, as a source of specific amino acids, can be a building material for the biosynthesis of the matrix of these tissues [19].

Osteoarthritis (OA) affects millions of people in the United States, and the number of people with OA is predicted to increase as the population ages. Currently, there is no cure for OA, so management of the disease is focused on reducing pain, maintaining mobility, and minimizing disability. In recent years, several investigators have suggested that some substances may be capable of repairing damaged articular cartilage or at least decelerating its progressive degradation. One such agent that has been investigated is the nutritional supplement collagen hydrolysate [20].

Previous clinical studies confirmed the effectiveness of collagen hydrolysate in the treatment of OA. The use of this agent was based on the substantiation that the hydrolyzed collagen contains a host of amino acids that play a role in the synthesis of collagen, one of the two main protein components of the cartilaginous matrix. It is assumed that the administration of this agent can stimulate chondrocytes prior to the synthesis of the collagen matrix and provide symptomatic improvement in OA [19, 21].

According to modern notions, with age-related cartilage degeneration, depolymerization and reduction of components of proteoglycans, primarily chondroitin sulfate, change the hydrodynamic properties of cartilage and reduce the rate of diffusion of nutrients in it. As a result, the main cartilage substance is reborn, disappears in some places, is replaced by a connective tissue. The main chondroprotectors are glucosamine and chondroitin sulfate - components of articular cartilage, which are part of the proteoglycans and glycosaminoglycans of cartilage tissue.

Currently, for the production of biologically active substances (BAR) chondroprotective action, bone and bone graft cartilage tissue of cattle is used that is significantly mineralized and contains less than 1% cartilage tissue. An alternative to this type of raw material is bone and cartilage tissue that remains after the processing of fish. Among the known methods of obtaining BAD chondroprotective action, the most effective is enzymological, based on the use of enzyme preparations. Positive results of the use of enzymatic hydrolysis in the preparation of drugs chondroprotective action confirm the rationality of the use of raw materials of bone and cartilage tissue pike perch. Using bone and cartilage tissue increases the yield of the finished product and enriches the finished dietary supplements necessary for the body with natural minerals [22].

Products of hydrolysis of collagen (gluten, gelatin, etc.) have a positive effect on the state and function of useful intestinal microflora, actively stimulate secretory and motor functions of the stomach and intestines [18, 23]. Elements of the connective tissue - glucosamine and mucopolysaccharides, like food fibers, have cationic character properties that cause excretion of various toxicants from the body, participate in the regulation of cholesterol metabolism [18].

According to many researchers, the beneficial effects of oral administration of collagen hydrolyzates are the result of overcoming the intestinal barrier with biologically active peptides that enter the bloodstream and become available for metabolic processes [24]. Collagen hydrolyzates are used for medical purposes, such as high-energy supplements, geriatric preparations and intestinal soluble drugs, diet therapy or weight control, as well as in the treatment of patients with specific digestive, absorption and amino acid metabolism disorders. Tests also included clinical treatment of patients with malnutrition associated with trauma, burns, cancer and liver encephalopathy [25]. Collagen hydrolyzate is a good source of amino acids for people suffering from anorexia, anemia and vegetarians (due to lack of meat in their diet). Biologically active supplements containing collagen hydrolyzate, which improve the regeneration of tendons or joints in physically active athletes with joint pain associated with activity [19, 24].

It has been shown that the orally consumed hydrolyzate of collagen is absorbed in the intestine and is accumulated in the cartilage. In particular, taking a hydrolyzate of collagen stimulates a significant increase in the synthesis of macromolecules of extracellular matrix chondrocytes [20]. According to medical data, clinical trials have shown that taking collagen hydrolyzate reduces pain in patients with osteoarthritis and osteoporosis. It is believed that 15% of the world's population suffers from diseases associated with joint pain. Thus, the disease of joints associated with other commonly occurring agents of high-risk diseases is becoming a growing problem. Growing risk factors are old age (over 50% of elderly people suffer from rheumatism), sex (large numbers of patients - children, especially after menopause), body weight (huge body weight is the cause of joints overload and leads to joint pain), constantly excessive sports activity, joint injuries (eg, dislocation), metabolic diseases (eg diabetes) [26]. Hydrolyzed collagen has been shown to be involved in cartilage matrix synthesis [24].

For almost two decades, scientists have studied the relationship between therapeutic trials for diseases of the joints and collagen, gelatin or collagen hydrolyzates. In many studies, researchers took a dose of 10 g of collagen hydrolyzate per day as a safe dose and well tolerated by patients. In addition, clinical trials have shown that this level of daily intake of proteins can reduce pain compared to patients in the placebo group [19].

Objective statement of article. The aim is to analyze the technologies of production and distribution of collagen hydrolyzate, the search for new sources of collagen.

Statement of basic materials. Good incentive for the development of new technologies for the production of collagen is the urgent environmental task - the rational use of protein-containing waste products for the processing of fish products. At present, the production of fish products is accompanied by the formation of a large number of secondary protein-containing raw materials (bones, fins, skin, scales, inwards, etc.), which makes up from 30 to 70% of the mass of raw material that does not find its application with the preservation of bioactive functional.

It should be noted that to date there are a number of methods for isolating the collagen hydrolyzate, presented both in scientific publications and in patents. It is necessary to emphasize on the values of molecular weight (MW) collagen, which is controlled by different methods, most often such as electrophoresis, Malda. Depending on the method of determination, the quantitative value of MW may vary slightly. However, in general, it can be said that the macromolecular collagen has a MW of 200 kDa, a hydrolyzate (low molecular weight) collagen ≤ 15 kDa. In this case, the coefficient of polydispersity (the ratio of the average mass and the average molecular weight) is important, which characterizes the "spread" of the values of the MW collagen.

In practice, the use of a set of techniques allows the obtaining of a fine-dispersed high-molecular collagen, a collagen hydrolyzate with a value below the threshold value of MW and a collagen with a wide range of MW, starting with high molecular weight and finishing with a hydrolyzate (low molecular weight). Significant advantage of hydrolyzate (low molecular weight) collagen before macromolecular or collagen with a wide range of MW is the ability to absorb more effectively both in the digestive tract and organs of the human system: the skin, hair and nails. The most suitable for the allocation of low molecular weight collagen are currently methods of chemical (alkaline, alkaline-salt, acid) and hydrolysis. In the latter case, proteolytic enzyme preparations are used, as well as complex additives containing several enzymes.

The collagen hydrolysates are produced in a controlled hydrolysis process to produce soluble peptides. The raw material is washed, homogenized and demineralized with dilute mineral acid or alkali. The raw material is extracted in several stages with warm water. Further enzymatic degradation of gelatin leads to the final product, which is a collagen hydrolyzate [19, 24, 26].

In the works of modern scientists and other leading scientists, [27, 28, 29] the allocation of fish collagen from fish skin was considered.

It is established in [30] that the effect of enzymes on collagen is different. For example, specific enzymes of collagenase and collagen mucoproteinase - have a special effect on collagen molecules. Nonspecific enzymes (trypsin, chymotrypsin, bacterial proteases, pepsin, papain, ficin, bromelin, elastase, mucopolysaccharidase, amylase, etc.) have a different profile of effect and split mainly denatured collagen peptides, contributing to increased solubility.

In some cases, for hydrolysis of collagen- or keratin-containing proteins that are poorly soluble in water and have a large number of peptide bonds that are not subjected to enzymatic hydrolysis, pre-acid

hydrolysis is used, and after partial or complete transfer of proteins to the soluble state, they undergo further transformation into hydrolyzates by means of enzyme preparations [30].

This study [15] aims to study the protein composition of the source material obtained from low-value species of fish of the family of cod, that is, pussy and bunches, for further use and development of innovative processing technologies of hydrobionts. The fish protein was fractionated using several extractions of homogeneous fish raw materials with solutions of increasing ionic strength and pH.

Hydrolyzed collagen, as a source of specific amino acids, can be a building material for the biosynthesis of the matrix of these tissues. From extracts of skin tissue received pharmaceutical gelatin. In order to enhance the absorption of desalin, additional enzymatic hydrolysis was performed [19].

Collagen hydrolyzate from the skin of cattle "Collimin-80" was obtained under the influence of enzymes of the pancreas of pigs [31]. "Collamin-80" contains amino acids, dipeptides, tripeptides and polypeptides.

In [32], the amino acid biopotential of the Baltic laced scales and Moroccan sardines were studied for use in gaming machines for sport nutrition of its hydrolyzates obtained by enzymatic and hydrothermal pathways.

In [33], it was shown that the calf obtained from the calf is cleaved at low temperature by pepsin splitting and has the properties similar to those of the commercial collagen.

For more effective use of inadequate resources, [34] from the deep sea seabream skin (*Sebastes mentella*), acid-solubilized collagen (ASC) and pepsin-allylated collagen (PSC) were isolated.

Also, in the study [35, 36] the collagen isolated from the Baltic cod spit was characterized.

In order to obtain collagen biopolymers [37, 38, 39], enzyme preparations were used to obtain a high-soluble protein product and exclude the possibility of deep hydrolysis of raw materials to low molecular weight products.

The Technology of Restaurant and Health Nutrition Department of the Odessa National Academy of Food Technologies has developed a technology for obtaining a collagen hydrolyzate from a scales of carp using alkaline hydrolysis. [40] Studies have shown that the resulting product has foaming, stabilizing and sorbing properties. [41-43]

Conclusions from this study and prospects. Thus, the search for new sources of collagen, its isolation and preparation of hydrolyzates is an urgent task of biotechnology. Getting biologically valuable foods, which are enriched with collagen hydrolyzate will ensure the expansion of the market for functional products.

References:

1. Turkiewicz M. Gollagen hydrolysates as a new diet supplement / Turkiewicz M. // Food Chemistry and Biotechnology, No. 1058. - Vol. 73. - 2009. - P. 83-93.
2. Дудкин М.С. Пищевые волокна как сорбенты экологически вредных веществ в желудочно-кишечном тракте / М.С. Дудкин, Л.Ф. Щелкунов,

- С.П. Решта и др. // Тез. докл. науч. конф. "Морфология, физиология и клиника пищеварения". - 1993. - С. 35-36.
3. Неклюдов А.Д. Выделение коллагенов из органов и тканей млекопитающих /А.Д. Неклюдов// Экологические системы и приборы, №11. - 2005. - С. 24.
4. Mahboon S. Isolation and characterization of collagen from fish waste material- skin, scales and fins of *Catla catla* and *Cirrhinus mrigala* / Shahid Mahboob// Association of Food Scientists & Technologists. - 2014.
5. Sionkowska A. Preparation and characterization of 3D collagen materials with magnetic properties /Alina Sionkowska, Sylwia Grabska// Accepted manuscript. - P. 1-21.
6. Baziwane D. Gelatin: the paramount food additive /Baziwane D., He Q. // Food Rev. Int. 19. - 2003. - P. 423-435,
7. Karim A.A. Fish gelatin: properties, challenges, and prospects as an alternative to mammalian gelatins /A.A. Karim , Rajeev Bhat// Food Hydrocolloids, 23. - 2009. - P. 563-576.
8. Se-Kwon K. Purification and characterization of antioxidative peptides from bovine skin / Se-Kwon Kim, Yong-Tae Kim, Hee-Guk Byun, Pyo-Jam Park, Hisashi Ito// Journal of Biochemistry and Molecular Biology. - 2001. - Vol. 34, No. 3. - P. 219-224.
9. Zhonkai Z. Physicochemical properties of collagen, gelatin and collagen hydrolysate derived from bovine limed split wastes /Zhongkai Zhang, Guoying Li, Bi Shi// Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. - 2005. - Vol. 90. - P. 23-29.
10. Minakowski W. Biochemia kr. gowców. PWN. / W. Minakowski, S. Weidner // Warszawa. - 2005.
11. Неклюдов А. Д. Свойства и применение белковых гидролизатов (обзор) / А. Д. Неклюдов, А. Н. Иванкин, А. В. Бердугина // Прикладная биохимия и микробиология. - 2000. - Т. 35, № 5. - С. 525-534. ,
12. Petsitis X. Kosmetyka ozdobna i piel_gnacjz twarzy / Xenia Petsitis, Katrin Kipper//Medpharm Polska. Wroclaw. - 2007.
13. Якубке Х. Д. Аминокислоты, пептиды, белки / Х. Д. Якубке, Х. Ешкайт, Н. П. Запелавовой, Е. Е. Максимова, Ю. В. Митина. - М.: Мир, 1985. - 456 с.
14. Жебелева И.А. Изменение биохимических свойств мясного фарша с высоким содержанием соединительной ткани под действием коллагеназы / И.А. Жебелева.
15. Derkach S.R. Nutrient analysis of underutilized fish species for the production of protein food /S. R. Derkach, V. A. Grokhovsky, L. K. Kuranova, V. I. Volchenko// Foods and Raw Materials . -2017. - Vol. 5, No. 2.- P. 15-23.
16. Цибизова М. Е. Ферментация костной ткани рыбного сырья как один из этапов получения структурообразователей / М. Е. Цибизова, Д. С. Язенкова, А. Ю. Акимова // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. - 2010. - № 2. - С. 144-149.
17. Самойлова Д.А. Вторичные ресурсы рыбной промышленности как источник пищевых и биологически активных добавок / Д.А. Самойлова, М.Е. Цибизова// Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. - 2015. - № 2. - С. 129-136.
18. Химия пищи: в 2 кн.- Кн. 1: Белки: структура, функции, роль в питании/ И.А. Рогов, Л.В., Антипова, Н.И. Дунченко и др. - М.: Колос, 2000. - 384 с.
19. Moskowitz R.W. Role of collagen hydrolysate in bone and joint disease / Roland W. Moskowitz. - 2000. - Vol.30. - P. 87-99.
20. Bello A.E. Collagen hydrolysate for the treatment of osteoarthritis and other joint disorders: a review of the literature /Alfonso E. Bello, Steffen Oeser// - 2006. - Vol. 22, No. 11. - P. 2221-2232.
21. Deal C.L. Nutraceuticals as therapeutic agents in osteoarthritis .The role glucosamine, chondroitin sulfate, and collagen hydrolysate / Chad L. Deal, Roland W. Moskowitz// Rheumatic Disease Clinics of North America. - Vol.25, No.2. - 1999. - P. 379-395.
22. Мезенова О.И. Биологически активные препарат хондропротекторного действи из отходов от разделки судака / О.И. Мезенова, Е.С. Землякова// Известия ВУЗов. Пищевая технология. - № 3. - 2007. - С. 32-34.
23. Кириллов А.И. Безотходные технологии переработки вторичных ресурсов рыбной промышленности для получения пищевых добавок с кальций-обогащающими и хондропротекторными свойствами / А.И. Кириллов, А.А. Линчешская, Е.Э. Куприна// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - Т. 15, № 3 (5). - 2013. - С. 1620-1624.
24. Zague V. A new view concerning the effects of collagen hydrolysate intake on skin properties /Vivian Zague// Arch. Derm. Res. - 2008 . - P. 479-483.
25. Clemente A. Enzymatic protein hydrolysates in human nutrition. Trends in Food Science and Technology. - Vol. 11. - 2000. - P. 254-262.
26. Widerski F. Hydrolizat kolagenu nowoczesny suplement diety / Widerski F., Czerwonka M., Waszkiewicz-Robak B.// Przem. Spo. - Vol. 4. - 2009. P. 42-44.
27. Nalinanon S. Use of pepsin for collagen extraction from the skin of bigeye snapper (*Priacanthus tayenus*) / Nalinanon S, Benjakul S, Visessanguan W, Kishimura H // Food Chem. - 2007. - P.593-601.
28. Skierka E. The influence of different acids and pepsin on the extractability of collagen from the skin of Baltic cod (*Gadus morhua*) / Skierka E., Sadowska M.// Food Chem . - Vol.105, No. 3. - 2007. - P.1302-1306.
29. Wang L Isolation and characterization of collagen from the skin of deep-sea redfish (*Sebastes mentella*) /Wang L, An X, Xin Z, Zhao L, Hu Q// Food Science. - Vol.72, No.8. - 2007 . - P. 450-455.
30. Байдалинова Л. С. Биотехнология морепродуктов / Л. С. Байдалинова, А. С. Лысова, О. Я. Мезенова // М.: Мир. - 2006. - 560 с.
31. Николаева Т.И. Гидролизаты коллагена в профилактике и лечении заболеваний суставов /Т.И.Николаева, П.В. Шеховцов// Fundamental research. - № 12. - 2014. - С.524-528.
32. Мезенова Н.Ю. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания /Н. Ю. Мезенова, Л. С. Байдалинова, О. Я. Мезенова// Вестник МАХ. - № 2. - 2014. - С. 48-52.

33. Zhongkai Z. Physicochemical properties of collagen, gelatin and collagen hydrolysate derived from bovine limed split wastes / Zhongkai Zhang, Guoying Li, Bi Shi// Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists. – Vol. 90. – P.23-28.

34. Wang L. Isolation and Characterization of Collagen from the Skin of Deep-Sea Redfish (Sebastes mentella) /L.Wang, X. An, Z. Xin, L. Zhao, Q. Hu// Journal of food science. – Vol. 72, Nr. 8. – 2007. – P. 450-455.

35. Pamg Cheng Fehng S. Extraction of collagen from fish wastes, optimization and characterization. Master's science degree dissertation. Lee Kong Chian Faculty of Engineering and Science. – 2016.

36. 2010. Isolation and some properties of collagen from the backbone of Baltic cod (Gadus morhua) / E. Zelechowska, M. Sadowska, M. Turk// Food Hydrocolloids. – Vol. 24. – P. 325-329.

37. Касьянов И.Г. Ферментативный гидролиз коллагенового сырья животного происхождения /И.Г. Касьянов, Н.Ю. Герасимова, ВюАю Бирбасов, Ч.Ю. Шамханов// Известия вузов. Пищевая технология. – № 4. – 2008. – С.17-21.

38. Бойко О.А. Разработка технологии мясных продуктов с использованием сырья, обработанного

коллагенолитическим ферментным препаратом микробного происхождения: Автореф. дис. канд. техн. наук. – М.: ВНИИМП, 2003. – 25 с.

39. Бибишев Р.А. Совершенствование технологии производства мясных продуктов с применением ферментного препарата Протепсин: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Воронеж: ВГТА, 2007. – 24 с.

40. Кушнір Н.А. Основи технології отримання колагену з рибної колагеновмісної сировини / Н.А. Кушнір // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: Зб. наук. праць: в 2 ч. Ч. 2 / Харк. держ. ун-т харчування та торгівлі; [редкол.: О. І. Черевко (відпов. ред.) та ін.]. – Харків, 2014. – Вип. 1 (19). – С. 107-116.

41. Dzyuba N. Investigation of kinetic parameters of the dietary supplement "Amil-ing" / N. Dzyuba, Prokopovich A. // Food and Raw Materials. – 2016. – Vol. 4. – №. 2. – P. 128-135.

42. Dzyuba N. Study into collagen hydrolyzate applicability as a structure forming agent / N. Dzyuba, I. Bilenka, A. Palvashova, E. Zemlyakova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – Vol. 5. - № 11 (89). – P. 10-17.

Strelyanaya Yu.O.

candidate of technical sciences,

assistant professor of mechanical engineering technology,

Sevastopol State University,

299053, Russian Federation, Sevastopol, st. Universitetskaya, d. 33

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM, PROVIDING THE IMPLEMENTATION OF LIMIT BOUNDARY CYCLES

Стреляная Ю.О.

кандидат технических наук,

доцент кафедры технологии машиностроения,

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»,

299053, Российская Федерация, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ РЕАЛИЗАЦИЮ ПРЕДЕЛЬНЫХ ГРАНИЧНЫХ ЦИКЛОВ

Summary: Synthesized automatic control system finishing turning operation, the use of which allows to ensure the stability of indicators of qualities when implemented by the system NPC limit boundary cycles. Investigation of the process of finish turning were used in solving a number of practical problems finishing of details on the automated equipment. Production tests showed, what is the processing of products on heavy machines at the final turning, compared to traditional methods, consistently provides high quality surfaces.

Аннотация: Синтезирована система автоматического управления операцией чистового точения, применение которой позволяет обеспечить стабильность показателей качества при реализации системой ЧПУ предельных граничных циклов. Выполненные исследования процесса чистового точения были использованы при решении ряда практических задач финишной обработки деталей на автоматизированном оборудовании. Производственные испытания показали, что при обработке изделий на тяжелых станках при чистовом точении, по сравнению с традиционными методами, стабильно обеспечивается высокое качество поверхностей.

Key words: adaptive control, technological system, heavy duty lathe, precision, cutting depth, boundary cycles, Kalman-Bucy filter.

Ключевые слова: адаптивное управление, технологическая система, тяжелый токарный станок, точность, глубина резания, граничные циклы, фильтр Калмана - Бьюси.

Постановка проблемы. В настоящее время чистовое точение на тяжелом оборудовании осуществляется с применением традиционных методов, которые не в полной мере учитывают влияние

случайных факторов, снижающих стабильность показателей качества обработанных изделий. Большие массы и габариты деталей, их уникальность, высокая стоимость, трудоемкость механической обработки требуют обеспечения особых условий,

которые существенно отличаются от традиционных решений для легких и средних станков. При обработке изделий на тяжелых станках учет нестационарности процесса, связанный с изменением состояния технологической системы, при разработке технологических процессов и методов управления токарными станками позволит увеличить производительность процесса, снизить себестоимость обработки деталей, повысить точность чистового точения.

Для операций чистового точения выполняемых на тяжелых станках отсутствуют динамические модели, отражающие закономерности изменения параметров качества, при воздействии на технологическую систему (ТС) стохастических возмущений не позволяющие осуществлять синтез систем управления соответствующими технологическими процессами.

Для стабилизации показателей качества технологические режимы назначаются исходя из неблагоприятных условий, например, возобновление режущих свойств изношенного инструмента производится значительно раньше, чем того требует его действительное состояние. При прогнозировании состояния ТС используются традиционные детерминированные модели протекания технологического процесса (ТП), осуществляемые с применением традиционных режимов резания, способов диагностики и управления [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Принимая во внимание многогранность выполненных исследований, в то же время следует отметить, что до сих пор недостаточно изучен механизм формообразования поверхностей при чистовом точении на тяжелых станках.

При производстве изделий на тяжелых станках стремятся реализовать граничный технологический цикл (программу управления), оптимизированную по заданному критерию [2]. Методика построения и расчета таких циклов определяется адекватностью моделей, характеризующих технологический процесс, возможностью получения соответствующей рабочей информации об изменениях в соотношениях и условиях осуществления технологической операции с минимальными отклонениями от заданных циклом значений [3]. В силу того, что состояние ТС изменяется с течением времени, при обработке партии изделий для каждой детали рассчитывают свой собственный цикл, который обрабатывает система с ЧПУ. Однако даже семейство таких циклов не обеспечивает заданного качества обработки т.к. не учитывает влияния внешних возмущающих факторов. Поэтому дальнейшее совершенствование процесса возможно за счет применения адаптивных систем.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. При обработке деталей на тяжелых станках, при отработке высокопроизводительных циклов наблюдается потеря устойчивости процесса, выраженная в виде существенных колебаний фактической глубины резания. Для устранения этого недостатка необходимы точные сведения об этом параметре.

Одним из путей оценки (диагностики) t_f - фактической глубины, является определение глубины

резания при известном начальном значении расстояния от базовой поверхности инструмента до центра вращения детали и скорости его изменения. Такие измерения невозможно осуществить точно, вследствие того, что ряд факторов, воздействующих на процесс обработки, не имеющих закономерного характера, оказывает существенное влияние на погрешность измерений. В частности, случайным оказывается, как текущее отклонение радиус-вектора заготовки, так и текущее состояние геометрических параметров инструмента [4].

Цель статьи. Построить систему автоматического оптимального управления (САУ) съемом припуска процесса чистового точения на тяжелых станках при работе в режимах предельных граничных циклов.

Изложение основного материала. Решение задачи об оценке неизменяемых параметров может быть обеспечено применением подхода, основанного на применении схем со «стохастическим наблюдателем» [5], где оценка неизменяемых компонент производится по результатам моделирования динамики технологической системы, с входным сигналом, соответствующим сигналу управления, поступающему на реальный динамический объект – технологическую систему. Для учета влияния статистических свойств текущих отклонений радиуса-вектора заготовки и состояния инструмента, необходимо дополнительно к входному сигналу подавать на вход модели системы случайный процесс с такими же стохастическими характеристиками, как у текущего отклонения геометрических параметров инструмента и радиус-вектора заготовки. Соответствующий случайный входной сигнал может быть получен при помощи формирующего фильтра [6].

Выходная координата формирующего фильтра по своим статистическим параметрам соответствует параметрам компоненты динамической системы, характеризующей процессы воздействия лезвия резца на заготовку (с наличием эксцентриситета) в процессе точения. Для настроек формирующего фильтра используются результаты статистической обработки профилограмм поверхности заготовки и результатов измерений режущей кромки резца.

С течением времени, значения переменных и их оценок наблюдателем неизбежно расходятся вследствие, например, отличий действительных значений отклонений радиус-векторов и их моделей. Целесообразно использование блока подстройки состояний наблюдателя в форме фильтра Калмана-Бьюси, который осуществляет необходимую коррекцию входных сигналов, обеспечивая минимально возможное значение среднеквадратического отклонения [5]. Полученные оценки имеют наименьшую из возможных дисперсию (при условии гауссовских шумов измерений) и пригодны для использования в системах управления по отклонению. Такая система (рис. 1) должна стабилизировать режимы относительно режимов, задаваемых условиями граничного технологического цикла с минимально допустимыми запасами.

С течением времени, значения выходных переменных и их оценок наблюдателем неизбежно рас-

Выполненные исследования процесса чистового точения были использованы при решении ряда практических задач финишной обработки деталей на автоматизированном оборудовании.

Оценка эффективности САУ ТП чистового точения при опытно-промышленной эксплуатации на «КЗТС» (г. Краматорск) проводилась при обработке деталей из стали 40Х, инструментом с режущей пластиной из смешанной керамики на основе оксида алюминия (СС650). Диапазон исследуемых режимов резания определялся по существующим

рекомендациям [7]. При точении в качестве СОТС использовали растворы, рекомендованные для обработки соответствующей категории материалов.

Все заготовки, обработанные со стабилизацией цикла по шероховатости поверхности, допуску на изготовление, биению относительно оси соответствовали требованиям технологической документации. Отмечено улучшение качества и повышение стабильности процесса (рис. 4, рис. 5, табл. 1).

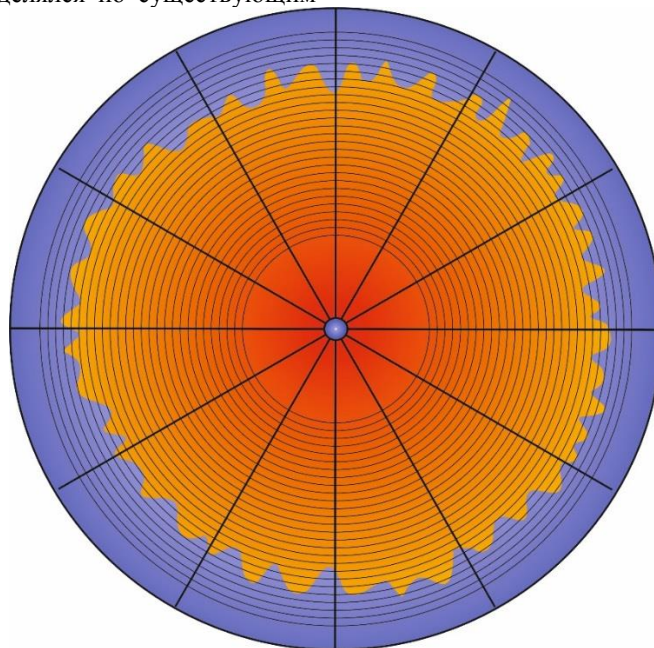


Рис. 4. Круглограмма детали обработанной по заводской технологии

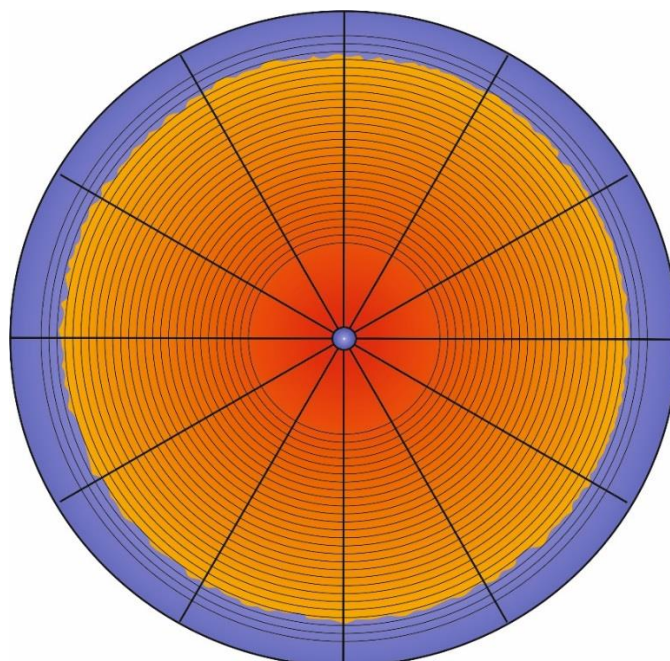


Рис. 5. Круглограмма детали обработанной по предлагаемой технологии

Сравнительные результаты качества поверхностей валков, обработанных по существующей и предлагаемой технологиям

Отклонение от заданного размера Δ , мкм				Шероховатость поверхности R_a , мкм					
По заводской технологии									
		max	min	дисперсия σ^2 , мкм ²		max	min	дисперсия σ^2 , мкм ²	
№ партии	1	0,025	0,0100	6,4	№ партии	1	0,63	0,41	$1,3 \times 10^{-3}$
	2	0,023	0,0090	5,5		2	0,62	0,51	$0,4 \times 10^{-3}$
	3	0,024	0,0120	4,0		3	0,63	0,46	$0,7 \times 10^{-3}$
Σ_j		0,023	0,0103	5,3	Σ_j		0,62	0,46	$0,8 \times 10^{-3}$
По предлагаемой технологии									
		max	min	дисперсия σ^2 , мкм ²		max	min	дисперсия σ^2 , мкм ²	
№ партии	1	0,020	0,0090	3,36	№ партии	1	0,41	0,30	$0,34 \times 10^{-3}$
	2	0,014	0,0050	2,3		2	0,32	0,22	$0,28 \times 10^{-3}$
	3	0,019	0,0080	2,8		3	0,40	0,29	$0,35 \times 10^{-3}$
Σ_j		0,017	0,0073	2,82	Σ_j		0,376	0,27	$0,32 \times 10^{-3}$
Σ_i / Σ_j		1,35	1,41	1,85	Σ_i / Σ_j		1,64	1,703	2,5

Выводы и предложения. Предлагаемая САУ обеспечивает наилучшую оценку вектора состояния технологической системы, что позволяет для управления процессом кроме скоростных характеристик (например, подачи) использовать их скорости изменения, то есть реализуется управление по скорости перемещения резца и его ускорению.

Это позволило в сравнении с традиционной обработкой обеспечить стабильное качество обработки и снизить значения дисперсий по размеру поверхностей – в 1,85 раза, по шероховатости – в 2,5 раза

Использование предлагаемого способа и САУ позволило снизить время на обработку деталей. Наиболее значительно время снижается для 1-й заготовки – в 1,42-1,5 раза, для второй – в 1,38-1,40 раза. В среднем производительность процесса точения поверхностей валков повышается на 20%.

Таким образом, выполненные в производственных условиях экспериментальные исследования подтверждают высокую эффективность САУ стабилизации цикла и возможность широкого применения разработанных методик в автоматизированном производстве.

Список литературы:

1. Биргер И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Васильева Л.В. Підвищення ефективності обробки на середніх токарних верстатах за рахунок оптимізації конструктивних параметрів різців і режимів різання / Л.В. Васильева // Дис. канд. техн. наук. спец. 05.03.01, 22.10. 2010 р.– Севастополь, 2010. – 157с.
3. Обработкающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / [Афонин В.Л., Крайнев А.Ф., Ковалев В.Е. и др.]; под ред. В.Л. Афонина. – М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
4. Стреляная Ю.О. Сборник статей «Современные направления и перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Севастополь 2015»: Материалы Международной научно-технической конференции 14-15 сентября 2015 г. / Ю.О. Стреляная, А.Г. Колесов – Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», 2015. – С. 149–153
5. Брамлер К., Фильтр Калмана-Бьюси. Детерминированное наблюдение и стохастическая фильтрация / К. Брамлер, Г. Зифлинг. – М.: Мир, 1982. – 200 с.
6. Калман Р. Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб – М.: Мир, 1971. – 398 с.
7. Коткина М.Г. Выбор режима резания на тяжелых токарных станках / М.Г. Коткина, В.Н. Черномаз, Л.М. Зуева // Станки и инструмент, 1983. – № 7. – С. 26–27.

Tretiak Oleksii

Candidate of Technical Sciences,
SE "Plant "Electrotyazhmash", Deputy Head of Department,
Senior Lecturer of Aerospace Thermal Engineering Department,
National Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky "KhAI"

Kobzar Kostyantyn

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.)
SE "Plant" Electrotyazhmash", Chief Designer on Turbogenerators

Gakal Pavlo

Doctor of Technical Sciences,
Assistant professor, Head of the Aerospace Thermal Engineering Department
National Aerospace University after N.Ye. Zhukovsky, "KhAI,

Chorna Natalia

Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Scientist
Department of hydrogen energy
Podgorny Institute For Mechanical Engineering Problems (IPMach NAS. of Ukraine)

Tribushnoi Nickita

Student, Design Engineer
National Aerospace University after N.Ye Zhukovsky, "KhAI",
SE Plant Electrotyazhmash

Nurmetov Roman

Student, Design Engineer
National Aerospace University after N.Ye Zhukovsky, "KhAI",
SE Plant Electrotyazhmash

BASICS OF PARAMETRIC MODELING OF TURBOGENERATORS**Третьяк Алексей**

Кандидат технических наук,
ГП «Завод» Электротяжмаш », заместитель начальника управления,
Старший преподаватель кафедры аэрокосмической теплотехники,
Национальный аэрокосмический университет имени Н.Е. Жуковский "ХАИ"

Кобзарь Константин

Кандидат технических наук
ГП «Завод» Электротяжмаш », главный конструктор по турбогенераторам

Гакал Павло

Доктор технических наук,
Доцент, заведующий кафедрой аэрокосмической теплотехники
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковский, "ХАИ,

Черная Наталья

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Отдел водородной энергетики
Подгорный институт проблем машиностроения (ИПМаш НАН Украины)

Трибушной Никиты

Студент, инженер-дизайнер
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского, "ХАИ",
ГП Завод Электротяжмаш

Нурметов Роман

Студент, инженер-дизайнер
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского, "ХАИ",
ГП Завод Электротяжмаш

ОСНОВЫ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Summary: The analysis of the methods of modernization of Turbogenerators of a classical design is made on the basis of requirements to reliability. Existing designs of Turbogenerators are studied and their strength margins, as well as reliability characteristics of their main units, are determined. The optimal method is chosen namely the method of parameterization of Turbogenerators design. It is proposed to use parameterization for designing of serial Turbogenerators of low power.

Key words: Turbogenerator, parametric modeling.

Introduction

There are several world schools of generator building. As a rule, many of them rely on the experience of using their design decisions, and each high-power machine is unique.

Due to the fact that when designing of new electric power plants, the period between designing and commissioning is significantly shortened, it became necessary to search for new methods for reducing the construction time.

At that it is necessary to provide reliability of design at more high level.

In this connection, there is a need to find new concepts for the designing and calculations of Turbogenerators.

Based on the analysis of the existing designs of Turbogenerators, we can say that they all repeat each other as a whole.

In [1,2] it is described the development of Turbogenerators of Western firms. If we emphasize the typical designs, then we can assume that these designs can be parameterized and in the preparation of TCP (Technical-Commercial Proposals) it is possible to consider parametric models for one series. In the near future, we are waiting for the transition to air cooling, and this means that there shall be a need to create highly-used machines.

Purpose of the Work

The Tasks of Studying:

- To analyze the ways of modernization of Turbogenerators of classical design.
- Select the optimal method of parameterization of the design of Turbogenerators.
- Consider the existing designs of Turbogenerators, determine the strength margins, as well as the reliability characteristics of the main units.
- Propose a parameterization of the design for serial Turbogenerators.
- Propose a series of Turbogenerators based on parametric modeling.

Basics of Parametric Modeling.

Parametric designing and modeling.

One of the main promising directions of technical objects designing is increasing of efficiency due to the creation of parametric design by different methods. The parametric design model allows significantly reduce the time required for the designer to make changes to the original data or after carrying out of the verification calculation [3].

Parametric modeling (parameterization) is modeling (design) using the parameters of model elements and the relationships between these parameters. Parametric modeling is significantly different from the usual two-dimensional drawing or three-dimensional modeling. The designer in the case of parametric design develops a mathematical model of objects, with parameters that change the configuration of the part, the mutual movement of parts in assembly.

The basic types of parameterization include:

1. Tabular parameterization consists in creating of a table of parameters for typical parts. Developing of a new part sample is done by selecting from the table of standard sizes. The possibilities of tabular parameterization are very limited, since it is usually impossible to specify arbitrary new parameter values and geometric relationships.

2. Hierarchical parameterization (parameterization based on the history of constructions) consists in the fact that during the construction of the model the entire construction sequence is displayed in a separate window in the form of a "tree of construction". It lists all the auxiliary elements existing in the model, sketches and performed operations in the order of their creation.

In addition to the "tree of construction" of the model, the system remembers not only the order of its formation, but also the hierarchy of its elements (relationships between elements). Parameterization based on the history of constructions is present in all CAD systems using three-dimensional solid-state parametric modeling. Usually this type of parametric modeling is combined with variational and / or geometric parameterization.

3. Variational or dimensional parameterization is based on the construction of sketches (with overlapping of various parametric links on the sketch objects) and the imposition of constraints by the user in the form of a system of equations that determine the relationships between the parameters.

Variation parameterization allows you to easily change the shape of the sketch or the size of the parameters of operations, which makes it convenient to modify the three-dimensional model. Geometric parameterization is parametric modeling, in which the geometry of each parametric object is recalculated depending on the position of the parent objects, its parameters and variables.

The parametric model, in the case of geometric parameterization, consists of construction elements and image elements. Elements of construction (design lines) define parametric connections. Elements of an image include image lines (with which designer lines are drawn), as well as design elements (sizes, inscriptions, hatchings, e.t.c.)

Some elements of the construction may depend from other elements of the construction. Elements of construction may contain parameters (for example, the radius of a circle or the angle of a straight line). When one of the model elements changes, all the elements that depend on it are rebuilt in accordance with their parameters and the ways they are assigned.

4. Geometric parameterization allows for more flexible correction of the model. If it is necessary to make an unplanned change to the geometry of the model, it is not necessary to delete the original construction lines (this can lead to loss of associative relationships between the model elements); you can draw a new line of construction and transfer the image line to it. For the parameterization, different tools are used [6, 7].

The Methods of Turbogenerators Designing

In order to correctly consider the possibility of parameterization of Turbogenerators design, it is proposed to determine the strength margins for one type of Turbogenerators, taking into account existing methods at the time of commissioning of the unit, taking into account possible correction for refinement for finite element methods (or three-dimensional modeling).

At that, the failure of large units can be considered in the context of the rules of "Technical Operation of Electric Power Stations and Networks".

According to the results got in the work of Mr. Kobzar K. A. [8], the modernization of constructions was carried out by increasing of power by 10%. Consequently, it can be concluded that the strength margins have been reduced, provided that the reliability indices are saved and maintained at the same level.

The concept of performing calculations by the methods of mathematical modeling in a three-dimensional formulation was developed by Mr. Tretyak A. V., including:

1. The analysis of the general design of the unit.
2. The causes of failure by three-dimensional modeling are considered.
3. Correlation of the existing methods with the data obtained in p. (2).
4. Optimization of the design taking into account the maximum zones of strength margins.
5. Choice of optimal design.

In order to determine optimal parameters of designing it is necessary to consider the basic stages of designing preparation which include:

- development of designing task, sketch design project;
- manufacturing and testing prototype sample;
- designing of the technical project, working project;
- manufacturing and testing of items from experimental lots;
- the development of the design according to the test results;
- specifying of the working project and its registration;
- transfer of the working project and its registration;
- transfer of the working project to the bodies of technological preparation of production.

The initial for designing of new products is the design (technical) task, which is compiled by the Customer (Enterprise) or on his behalf by the designing organization.

Based on the analysis of the customer's design task and the comparison of various versions for possible product decisions, a comparative evaluation of decisions, taking into account the design and operational features of the developed and existing products, as well as patent materials, a technical proposal is prepared namely a set of design documents containing technical and technical and economic grounds for the further development of the project.

One of the most advanced and most innovative, combining the experience of generations and the indefatigable ardor of youth in it-self was the school of Mr. Gruboi Alexander Petrovych.

It was he, who laid the basic principles of the possibility of transition from two-dimensional modeling to three-dimensional. And a qualitative leap was achieved by combining the leading experts of the "old school" and "the youth". At that, the basic dogmas laid down by Mr. Stanislavsky L. Ya. have been preserved, but rather even toughened. The best criterion for determining of quality was time. The characteristic feature of the machines was reliability.

In the 60-'s of the 20th century, the design team of SE "PLANT "ELECTROTIAZHMASH" under the guidance of Mr. L. Ya. Stanislavsky the tests were carried out at Turbogenerators rated 200 MW and 300 MW with hydrogen and hydrogen-water cooling at SDPP.

It was established by the tests carrying out that the design requires partial refinement that is why the following changes were made:

1. The norms for gas-tightness of welded structures and generator assemblies were toughened (the stator casing, the ducts, the shields, the end terminals, e.t.c.)

2. The oil shaft seals were modernized in order to reduce oil leaks into the generator, which reduced the consumption of hydrogen. Corrosion resistance of the working surfaces of the casings was improved.

3. The design of a current lead of a closed type rotor the design of Mr. Khlopkov O.N. was put in to practice.

4. In order to eliminate the hydrogen ingress into the bearing No. 6 of the shields in the parts:

a) Cooling of the structural elements of the shield in the area of the casing of the 6-th bearing was improved.

b) Fastening of the intermediate bush of the outer shields was changed, which made it possible to increase the gas-tightness of the detachable joints.

5. In order to eliminate getting of compound into the stator connecting busbars, they were reconstructed:

6. Thermoset insulation instead of compounded insulation was put in to practice (1969, July).

7. The norms for the rotors balancing in a racing balancing pit were toughened from 30 microns up to 20 microns.

8. The rotor of the generator was modernized with put in to practice additional milling of the rotor poles in order to reduce its different rigidity.

9. For the first time, a new design of the brush-holders device was put in to practice.

At the basis of the analysis of taken decisions strength margins were determined (Table 1).

Strength margins of Turbogenerators of various power.

Cl. Nos.	Description of Parts and Units	TGV-200	TGV-300
		Strength margin	Strength margin
1	Rotor tooth	2.07	2.2
2	Surface of internal boring	1.9	1.78
3	Rotor neck	2.4	1.96
4	Retaining ring	n = 3000	1.9
		n = 3600	1.19
5	Wedge of the Rotor Slot	cut	5
		bend + compression	2.6
6	Rotor Copper	1.34	1.45
7	Axial Fan	bush	2.02
		blade	1.89
8	Compressor	wheel	2.75
		casing	1.53
		blade	2.07
9	Spring of suspension	1.38	1.4
10	Pressing down flange	1.16	1.42
11	Pressing down finger	1.25	1.76
12	Foundation bolts	2.12	2.24

Now it is necessary to consider the reliability criteria of Hydrogenerators.

Basic Requirements to Reliability

Due to the fact that the requirements of normative technical documentation divide constructive elements into resource and non-resource units (Figure 1), the main requirements for Turbogenerator units are given for reliability assessment.

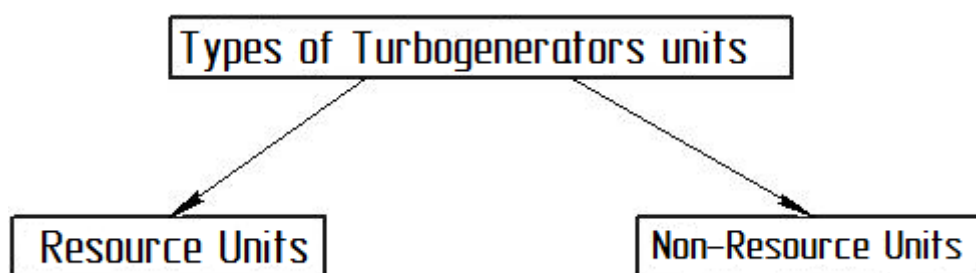


Figure 1 – Types of Turbogenerators units

Turbogenerator shall be connected to the network by the precise synchronization method. At emergency situations elimination at the station or in the power system, it is allowed to switch-on in the network with the self-synchronization method. It is allowed for the whole service life of Turbogenerator to switch-on it in to the network not more than 10,000 (up to 330 starts per a year). At the same time, Turbogenerator shall meet the "Technical requirements for the maneuverability of power units of thermal power plants with condensation turbines" approved by the Ministry of Electrical Engineering, Ministry of Energy and the Ministry of Energy of the USSR dated 01.09.86. It is also allowed to work with variable daily load schedules, including passing maxima not less than twice a day.

Indicators of operational lifetime and reliability include service life that is not less than 30 years, the availability factor shall be not less than 0.995 at failure time shall be not less than 18,000 hours, average time between failures of 12,000 hours and average operational complexity of planned repairs of 2,070 standard hours. The established resource between overhauls is 5 years.

The first repair of Turbogenerator with the rotor withdrawal shall be carried out no later than 8,000 hours after commissioning.

Turbogenerator design shall provide easiness of maintenance, assembly and disassembly of its assembly units and meet the requirements of maintainability, taking into account the minimum complexity of repairs.

Characteristics:

Reliability of Turbogenerator in the conditions and operation modes established by the technical conditions shall be characterized by the following indices:

Readiness factor, p. u. - 0,996;

Time between failures, h- 27000;

Service life at observation of the terms and amounts of planned inspections and repairs, years - 40;

Resource between overhauls, years- 8;

Average operational complexity of planned repairs, norm-hours - 13770.

The failure of Turbogenerator is considered by its condition according to the criteria.

At the same time, the criteria for failures of the main units can be tabularized, presented below.

Criteria for failures of resource units:

- 1) The stator core.
 - Temperature, measured as per individual standard resistance temperature detectors or for their entire group controlling heating of the core, exceeds the maximum permissible value.
 - Vibration measured with the stationary sensors, above the maximum permissible value,
 - Removable crushing of the tooth zone.
 - Removable melting of teeth zone after local short-circuits to the stator casing.
 - Unscrewing of nuts for fastening of the pressing-down flanges.
- 2) The stator winding.
 - Short-circuit of the winding to the casing.
 - Phase-to-phase short-circuit.
 - Turn-to-turn short-circuit.
 - Temperature, measured as per individual standard resistance temperature detectors or for their entire group exceeds the maximum permissible value.
 - Insulation resistance relatively to the casing lower maximum-permissible value.
 - Loosening of the bars fastening in the slot part.
 - Phases DC resistance or the difference between them differs from the maximum permissible values.
- 3) The rotor winding.
 - Short-circuit of the winding to the casing.
 - Turn-to-turn short-circuit.
 - Decreasing of the insulation resistance relatively to the casing lower than permissible value.
 - Temperature, measured as per winding resistance over maximum-permissible value.
 - Open of circuit.
 - DC resistance differs from limiting-permissible value.

Criteria for failures of non-resource units:

- 1) The stator casing.
 - Emerge of cracks in the places of welding.
- 2) The rotor shaft and retaining ring.
 - Removable micro-cracks and fractures of teeth.
 - Formation of colours of tarnishing and micro-cracks on the fit surfaces of the retaining rings and rotor shaft.

- Corrosion of the centering ring of the retaining ring.
- 3) The thrust bearing.
 - Heating over limiting-admissible value.
 - Melting out of babbiting.
 - Breakage of the resistance temperature detectors.
 - Reducing of insulation resistance of the thrust rings of the bearing casing.

So, after considering the basic requirements to designing and steps on technical modernization, you can consider a series of Turbogenerators.

Turbogenerators with Air Cooling

Turbogenerators with indirect air cooling of T2 series were manufactured at SE "PLANT "ELECTROTYAZHMASH" from the middle of the last century. In total, more than 130 Turbogenerators of this series were manufactured.

The design of Turbogenerators of T2 series was improved in developed Turbogenerators series TA.

In 1998 Turbogenerator TA-6-2 rated 6 MW with voltage of 6.3 kV, which is successfully in operation at the enterprise "Silur" Ltd. was manufactured.

Since 1999, Turbogenerator TA-12-2 rated 12 MW with a voltage of 10.5 kV is in operation at Zaporozhsky Aluminum Plant (ZALK, Ukraine).

In India, at the cement plant in Diamond since 1999, Turbogenerator TA-15-2TV3 rated 15 MW, 3000 rpm, with stator voltage of 11 kV with a brushless excitation system is in operation.

The series of Turbogenerators TA was further improved by the usage of direct air cooling of the rotor winding conductors, at that in the modification the letter "M" is applied.

In 2001, for Mironovskaya TPP (Ukraine), Turbogenerator TA-120-2MU3 with complete air cooling rated 120 MW was designed, which was thoroughly tested at the enterprise stand and is in operation.

In 2006 at SE "PLANT "ELECTROTYAZHMASH" the head specimen of Turbogenerator type TA-35-2MU3 with air cooling rated 35 MW, with a rotational speed of 3000 rpm was manufactured and tested, and which was installed and successfully operated at the Zaporozhskiyi Metallurgical Plant (Ukraine).

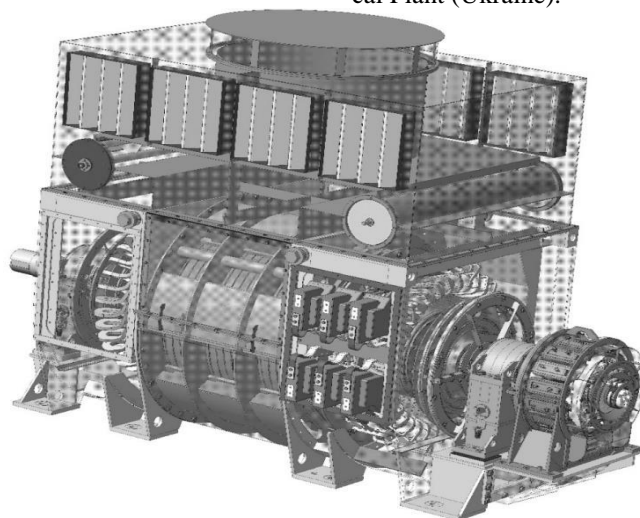


Figure 2 – Turbogenerator TA-6-2MU2 rated 6 MW with air cooling

In 2009-2010 the production prototype of Turbo-generator TA-6-2MU2 (Figure 2) with stator voltage of 6.3 kV was tested.

Based on the design of the TA-6-2MU2 Turbogenerators rated 4 MW, 6 MW and 8 MW can be designed with closed or opened air cooling system with parameter adjustment depending on specific environmental conditions and operating conditions.

For low power generators, "Parametric design" can be considered for tabular and geometric parameterization. As a limiting factor, electrical parameters and mechanical parameters were used. In terms of mechanical strength, it is necessary to take into account the increase of the rotor body length, to ensure the necessary vibrational state of the construction at the proper level.

In connection with above mentioned at the basis of parameterization rules and changing of admissible strength margins a series of low power Turbogenerators with air cooling was developed.

Applied parameterization methods allows to develop one project instead of three separate ones, which saves at least a year necessary for the preparation of design and technological documentation.

Conclusion

In the presented work the main methods of parameterization of complex technical objects are considered. The main ways are indicated which let design highly used Turbogenerators of high power.

The strength margins are calculated of the main design elements and the necessary reliability indices which are characteristic for resource and non-resource assemblies of high-power Turbogenerators.

For the first time a series of Turbogenerators based on parametric modeling of Turbogenerators with air cooling is presented.

Bibliography:

1. Radziyevskiy V.N. Heat Exchangers for Compressor Plants: Researches, Design, Technology / V.N. Radziyevskiy, G.V. Kirik, A.M. Lavrenko, A.M. Kotov // Sumy: Slobozhanshchina, 2007. – 318 p.
2. Sychkov A.Ye. The Role of Efficient Cooling Systems in Modern Compressor Plants. Magazine "Mega Pascal", 2009-No. 4, P. 36-40.
3. Kontsevych V.G., Vaschenko S.M. Usage of Modern IT for Quality Improvement of Compressors Equipment. Compressors and Power Machine Building. – Sumy, 2007, No. 4 (10). – P. 57-60.
4. Kontsevych V.G. Choice of CAD-System in Machine Building Industry / V.G. Kontsevych, A.A. Bekov // Compressors and Power Machine Building, 2006. – No. 2 (4).
5. Kontsevych V.G. Designing of CAD PRT at the Basis of Parametrical Solid-State Modeling / V.G. Kontsevych, O.I. Kogulko CPM // Compressors and

Power Machine Building, 2013. – No. 3(33). – P. 16-18.

6. Kontsevych V.G. Designing of Parametrical Parts and Items in AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL R11 / V.G. Kontsevych, N.A. Koshelenko // Materials of Scientific-Technical Conference of Teachers, Staff, Graduate Students and Students of the Engineering Faculty – Sumy: Publishing House SumDU, 2007. – P.151

7. Kontsevych V.G. Development of Model of Parametrical Designing of Rotors for CAD of Centrifugal Compressors / V.G. Kontsevych, S. Yu. Serdyuk // IMM-2013 Materials of VI Inter-University Scientific and Technical Conference of Teachers, Staff, Post-graduate Students and Students. – Sumy, 2013, P. 66.

8. Kobzar, K.A. Methods and Means of Designing and Complex Per-Unit Modernization of Turbogenerators Rated 150-300 MW: *Author's Abstract. Dis. ... Cand. Tech. Science.* — Kyiv, 2015. — 22 p.

9. Shevchenko V.V., Minko A.N. Designing of Cooling Systems and Optimization of Turbogenerators Design. – Kharkov: Monograph, 2013. – 242 p.

10. Shevchenko V.V., Minko A.N. Competitiveness Increasing of Domestic Turbogenerators // XI International STC, 2013. Electrical-Mechanical and Power Systems, Modeling and Optimization Methods. – Kremenchuk, KrNU, 2013. – P. 220-221.

11. Shevchenko V.V., Minko A.N. Optimization Criteria of Mass-Overall Parameters of Turbogenerators Designs // Innovative Technologies in Electric Power Industry and Electrical Mechanics. Collection of Scientific and Technical Works of MK. – Voronezh, 2013. – P. 138-142.

12. GOST Ukraine 533- 2000 Turbogenerators with Air Cooling. Electrical Rotating Machines. – Kyiv, 2001. – 7 p.

13. Kuzmin V.V., Shevchenko V.V., Minko A.N. Optimization of Mass-Overall Parameters of Inactive Parts of Turbogenerators. – Kharkov: Monograph SPDFD Chastyshev A.V., 2012. – 246 p.

14. Shevchenko V.V. Comparative Estimation of Mass-Overall Parameters of Turbogenerators with Air and Hydrogen Cooling Systems / V.V. Shevchenko, A.N. Minko // NTU KhPI. – 2010. – No 3. – P. 108-112.

15. Designing of New Types and Upgrading of Existing Turbogenerators for Thermal Power Plants / Yu.V. Zozulin, A.E. Antonov, A.M. Bychik and e.t.c. – Kh.: PF "Collegium", 2011. – 228 p.

16. Kuzmin V.V., Kobzar K.A. Choice of Efficiency Increasing of Turbogenerators with Air Cooling System, Bulletin NTU KhPI, 2001, No. 17. – P. 91–92.

17. Kuzmin V.V., Kobzar K.A. Choice of Ventilation System in Turbogenerators of Small Power with Air Cooling, Electrical Engineering and Electrical Mechanics, 2003, No. 1. – P. 124–126.

#3 (43), 2019 część 4
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#3 (43), 2019 part 4
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>