



NORWEGIAN JOURNAL OF DEVELOPMENT OF THE INTERNATIONAL SCIENCE

№29/2019

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
 - Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
 - Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
 - Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
 - Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
 - Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
 - Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
 - Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
 - Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
 - Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
 - Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
 - Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
 - Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
 - Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
 - Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
 - Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
 - Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
 - Chan Jiang (Peking University, China)
- and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>

CONTENT

BIOLOGICAL SCIENCES

Golubev D., Shchedrina Yu.

THE RELATIONSHIP OF INDICATORS OF HEART RATE
REGULATION WITH PARAMETERS OF PHYSICAL AND
FUNCTIONAL LOADS DURING THE COMPETITIVE
SOCCER ACTIVITIES 3

Polishchuk L.

SOME TENDENCIES IN ORGANIZATIONS OF GENES,
ENCODING BETA-GALACTOSIDASES AT
STREPTOMYCETES 9

EARTH SCIENCES

Degteva A., Podolsky A.

DESIGNING EDUCATIONAL NATURE TRAILS WITHIN A
SUBURBAN PROTECTED NATURAL AREA 14

Iofin Z.

WATER BALANCE THEORY IS MORE THAN 340 YEARS
OLD 16

PHYSICAL SCIENCES

Gladyshev G.

THERMODYNAMICS OF NUCLEIC ACIDS AS SOURCE
OF LIFE 23

**Gulevsky V., Shtremmel S.,
Kidalov N., Gurbich V., Dudin N.,
Velikanov M., Ogorodnikov S.**

TECHNOLOGY OF OBTAINING AND AREA OF
APPLICATION OF ELECTROTECHNICAL
COMPOSITIONAL MATERIALS ON A CARBON-
GRAPHITE BASIS 27

TECHNICAL SCIENCES

Drach O., Dynnyk O.,

Gerasco K., Griбанov, O.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INPUT DEVICE
AVIATION POWERPLANT WITH A PROPELLER DRIVEN
BY IONIZATION FLOW 34

Kukui F., Men'shikov V.

THE OBSERVER'S BEHAVIOR STATE MODEL IN THE
CIRCULAR OVERVIEW SYSTEM, WHILE ENSURING THE
SAFETY OF NAVIGATION 40

Tyapin A., Kinev E.

THE MAGNETIC FIELD OF A MULTI-PHASE INDUCTION
DEVICE WITH SWITCHING WINDINGS FROM A
TRIANGLE TO A STAR.....45

Khalikov A., Urakov O.

DISTRIBUTION OF TELEPHONE LOAD IN THE
NETWORKS OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL
COMMUNICATION OF JSC "UZBEKISTAN
RAILWAYS" 52

Shishkin N., Ilyin R.

THE EXPERIMENTAL ESTIMATION OF THE
PARAMETERS OF THE VERTICAL-AXIAL WIND-MILL
ELECTRIC GENERATING UNIT FOR THE SELF-
GENERATED POWER SUPPLY OF THE OBJECTS BY
LAND AND BY SEA 55

BIOLOGICAL SCIENCES

THE RELATIONSHIP OF INDICATORS OF HEART RATE REGULATION WITH PARAMETERS OF PHYSICAL AND FUNCTIONAL LOADS DURING THE COMPETITIVE SOCCER ACTIVITIES

Golubev D.,

post-graduate student

of the Department of physiology, physical training coach of the Academy of FC "Zenit"

Shchedrina Yu.

doctor of biological Sciences, Professor of physiology Department

Academy of football club "Zenit", St. Petersburg, ul. Fidelity d. 21.

National State University of Physical culture, sport and health named after P. F. Lesgaft, Saint-Petersburg, Dekabristov str., 35.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА С ПАРАМЕТРАМИ ФИЗИЧЕСКОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ В ПРОЦЕССЕ ФУТБОЛЬНОЙ СОРЕВНОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Голубев Д.В.,

аспирант кафедры физиологии, тренер по физической подготовке академии ФК «Зенит»

Щедрина Ю.А.

доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии

Академия футбольного клуба «Зенит», Санкт-Петербург, ул. Верности д. 21.

Национальный Государственный Университет Физической культуры, спорта и здоровья имени П. Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, ул. Декабристов д. 35.

Abstract

The study established the conjugation of statistical and spectral parameters of the heart rate with the parameters of the load and the reaction of the cardiovascular system of young players during football games.

Аннотация

В исследовании установлена сопряженность статистических и спектральных показателей сердечного ритма с параметрами нагрузки и реакцией сердечно-сосудистой системы юных футболистов в течении футбольных игр.

Keywords: heart rate variability, physical activity, functional state, football players.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, физическая нагрузка, функциональное состояние, футболисты.

Введение

Для футбола характерна разноплановость движений начиная от высокоинтенсивных активных действий и заканчивая малоинтенсивными передвижениями [3, 9], соотношение которых во многом связана с игровым амплуа. За последние 10 лет втрое увеличилась интенсивность бега в футбольных матчах [4, 10], в связи с этим изменились и требования к физическим и функциональным возможностям высококвалифицированных футболистов и спортивного резерва. Современные технологии глобального позиционирования (GPS) широко используются для контроля тренировочных и соревновательных нагрузок посредством оценки параметров внешней нагрузки футболистов [11], это стало необходимостью для рационального управления тренировочным процессом. Однако, стандартизированные блоковые программы тренировок в командных видах спорта часто дают смешанные результаты [7]. Желание индивидуализировать тренировочный процесс для игроков командных видов спорта привело к внедрению множества раз-

личных стратегий мониторинга, позволяющих тренерам получать информацию по каналам биологической обратной связи.

Частота сердечных сокращений в покое и при нагрузке, вариабельность сердечного ритма (BCP) являются многообещающими переменными для мониторинга, которые могут служить индикаторами физиологической «цены» адаптации к тренировочным и игровым нагрузкам. Полученная из мониторинга RR-интервалов BCP обеспечивает неинвазивный способ оценки вегетативного статуса сердца спортсменов [6], что особенно актуально для определения степени напряжения систем организма юных спортсменов под влиянием физических нагрузок.

Процесс подготовки юных футболистов – одна из важнейших проблем, которая основывается на биологических закономерностях развития организма, физических качеств и изменения социальных факторов [1]. В основе достижения высоких результатов лежат процессы адаптации организма юных спортсменов, характеризующиеся устойчивым уровнем функционирования физиологических

систем, внутренних органов и тканей. Каждый организм ребенка индивидуально реагирует на высокие тренировочные и соревновательные нагрузки, которые оказывают специфическое воздействие на развивающийся организм [2].

Из всего выше сказанного можно сформулировать следующую проблему – наличие современных технологий, выдающих огромный объем цифровой информации о параметрах физической нагрузки, ответа функциональных систем на нее и сложность в систематизации, интерпретации и использовании данной информации способствуют модернизации тренировочного процесса юных футболистов. Цель данной работы заключалась в определении взаимосвязи показателей автономной регуляции сердечного ритма с показателями игровых нагрузок на организм футболистов с различными игровыми амплуа.

Организация исследования

Было проанализировано 10 футбольных матчей с участием команд U-2004 и U-2003.

Субъекты: В исследовании приняли участие 26 юных футболистов–профессионалов (команда U-2004, n=12; команда U-2003, n=14).

Методы и методики: Для оценки степени напряженности функциональных систем организма спортсменов использовали диагностический комплекс «Омега-Спорт» производства фирмы «Динамика», Санкт-Петербург, анализирующий электрокардиосигнал в трех стандартных отведениях. Параметры ВСР фиксировались в утренние часы с 8:30 до 11:00 в день игры. Регистрировались и анализировались следующие параметры ВСР:

статистические показатели:

ИВР (усл. ед.) – индекс вегетативного равновесия. $ИВР = aMo / \Delta X$ для выявления соотношения активности симпатических и парасимпатических влияний на сердечный ритм;

ВПР (усл. ед.) – вегетативный показатель ритма. $ВПР = 1 / (Mo \times BP)$ с целью оценки активности автономного контура;

ПАПР (усл. ед.) – показатель адекватности процессов регуляции. $ПАПР = aMo / Mo$ для определения баланса между влияниями симпатического и парасимпатического отделов на сердечный ритм;

ИН (усл. ед.) – индекс напряжения. $ИН = aMo / (2\Delta * Mo)$ для определения соотношения активности симпатического и парасимпатического отделов автономной нервной системы;

Mo (мс) – мода для отражения степени активности гуморального канала регуляции сердечного ритма;

aMo (%) – амплитуда моды с целью отражения активности симпатического отдела автономной нервной системы на сердечный ритм;

BP (мс) – вариационный размах. $\Delta X = RR_{max} - RR_{min}$ для характеристики влияния парасимпатического отдела на автономную нервную систему;

SDNN (мс) – среднее квадратичное отклонение для определения состояния механизмов вагусной регуляции сердечной деятельности;

RMSSD (мс) – квадратный корень из среднего квадрата разностей величин последовательных пар

интервалов NN для отражения активности автономного контура регуляции;

CV (%) – коэффициент вариации, позволяет оценивать влияния ЧСС на ВСР;

pNN50 (%) – процентное отношение последовательных интервалов NN, отражает влияние парасимпатического отдела на сердечный ритм, в том числе синусовую аритмию, связанную с дыханием.

спектральные показатели:

VLF (мс²) – очень низкочастотные колебания, показатель отражает активность симпатического отдела автономной нервной системы;

LF (мс²) – низкочастотные колебания характеризуют состояние системы регуляции сосудистого тонуса;

HF (мс²) – высокочастотные колебания отражают вагусную активность;

TP (мс²) – общая мощность спектра отражает суммарную активность нейрогуморальных влияний на сердечный ритм;

LF/HF (усл. ед.) – отношение значений низкочастотного и высокочастотного компонентов ВСР характеризует относительную активность подкоркового симпатического звена регуляции;

VLF (%) – процентное отношение мощности очень низкочастотных колебаний к общей мощности спектра;

LF (%) – процентное отношение мощности низкочастотных колебаний к общей мощности спектра;

HF (%) – процентное отношение мощности высокочастотных колебаний к общей мощности спектра

Для оценки параметров внешней нагрузки использовали GPS технологию CATAPULT (компания CATAPULT, Австралия). В комплект оборудования входит трекер, который фиксируется на плечевом поясе, груди и спине; датчик, который устанавливается на спине оснащен GPS антенной и тремя микросенсорами акселерометром, магнитометром и гироскопом. Программное обеспечение обеспечивает нарезку тренировочных и соревновательных сессий, облачный сервер предназначен для сбора, хранения и анализа данных. Регистрировали следующие параметры:

Общие показатели физической нагрузки:

Total Duration – общая продолжительность двигательной деятельности;

Total Distance – общая дистанция, преодолеваемая игроком за одну игровую сессию;

Meterage Per min (m) – дистанция, преодолеваемая игроком за одну минуту;

Tot PL (u.y) – общая игровая нагрузка;

PL Per min (u. y.) – игровая нагрузка в минуту.

Скоростные показатели:

Dist 4,5-5,5(m) – дистанция в метрах проделанная на скорости 4,5 – 5,5 метров в секунду

Dist 5,5-7(m) – дистанция в метрах проделанная на скорости 5,5 - 7 метров в секунду

Dist >7(m) – дистанция в метрах на скорости выше 7 метров в секунду

% high speed – процент высокоинтенсивного бега от общей дистанции бега.

Показатели IMA – анализ инерциального микродвижения: параметры, измеряющие микродвижения и направление движения спортсмена независимо от положения устройства. Количественно определяют движения атлета в скоростных зонах [8]

IMA accel high – высокоинтенсивные ускорения

IMA decel high – высокоинтенсивные торможения

IMA Cod Left high – высокоинтенсивные смены направления в левую сторону

IMA Cod Right high – высокоинтенсивные смены направления в правую сторону

IMA jump count high – количество высокоинтенсивных прыжков

IMA jump count low – количество низкоинтенсивных прыжков

Total jumps – общее количество прыжков

Для оценки функциональной реакции сердечно-сосудистой системы на нагрузку использовали спортивную технологию POLAR TEAM 2 (компания POLAR, Финляндия). Технология оснащена нагрудным ремнем, дополнительным модулем, программным обеспечением и облачным сервисом. Регистрировали следующие параметры:

Показатели частоты сердечных сокращений:

HRV max (уд/мин) – максимальное значение за сессию;

HRV mean (уд/мин) – среднее значение за сессию;

HRV min (уд/мин) – минимальное значение за сессию.

Показатель усталости

TRIMP (усл. ед.) – расчетный показатель усталости ($\text{Heart Rate Band 1 Total Duration} / 60 \cdot 1$) + ($\text{Heart Rate Band 2 Total Duration} / 60 \cdot 1,2$) + ($\text{Heart Rate Band 3 Total Duration} / 60 \cdot 1,5$) + ($\text{Heart Rate Band 4 Total Duration} / 60 \cdot 2,2$) + ($\text{Heart Rate Band 5$

$\text{Total Duration} / 60 \cdot 4,5$) + ($\text{Heart Rate Band 6 Total Duration} / 60 \cdot 9,0$) [5]

Экспертная оценка:

Оценка производилась в баллах от 0 до 10 (меньшая -0 ; большая -10). В качестве экспертов были задействованы тренеры (n=8), имеющие футбольную категорию А, В юношескую или UEFA.

Статистическая обработка: Для выявления корреляционных связей между статистическими и спектральными показателями сердечного ритма юных футболистов, сгруппированных по амплуа, с параметрами нагрузки и степенью напряжения ССС использовали линейную корреляцию Спирмена, при $p < 0,05$ считали корреляционную связь достоверно значимой.

Результаты исследования

Представленные в ниже корреляционные связи имеют статистическую значимость ($p < 0,05$). Установлено, что у нападающих команды U-2004 коррелируют следующие показатели ВПР и Tot Dist ($r = -0,819$); ПАПР и Tot Dist ($r = -0,822$); ИН и PL Per min ($r = 0,964$); Мо и Tot Dist ($r = -0,887$), и meterage Per min ($r = 0,770$); aMo и meterage Per min ($r = 0,986$); BP и Dist 4,5-5,5 m/s ($r = 0,847$); SDNN и meterage Per min ($r = 0,925$), и Dist 5,5-7 m/s ($r = 0,765$), и Dist > 7 m/s ($r = -0,999$); RMSSD и PL Per min 0,755; и IMA accel high ($r = -0,887$), и IMA decal high ($r = 0,765$); CV и Total PL ($r = 0,900$); pNN50% и %high speed ($r = 0,881$); и IMA accel high ($r = -0,800$); и Total jump ($r = 0,925$); LF и IMA Cod left ($r = 0,816$); TP и IMA Cod right high ($r = 0,794$); LF/HF и Total PL ($r = -0,916$), и %high speed ($r = 0,881$); и IMA decal high ($r = 0,800$); Total Dur и HRV max ($r = 0,819$), и HRV mean ($r = 0,952$), и HRV min ($r = 0,963$), и TRIMP (0,999); Total Dist и TRIMP ($r = -0,862$); Dist 4,5-5,5 m/s и HRV min ($r = -0,950$); IMA decal high и TRIMP ($r = -0,814$); IMA Cod right high и HRV min ($r = -0,763$); Total Dur и ЭОТ ($r = 0,816$); %high speed и ЭОТ ($r = 0,826$) (Рис. 1).

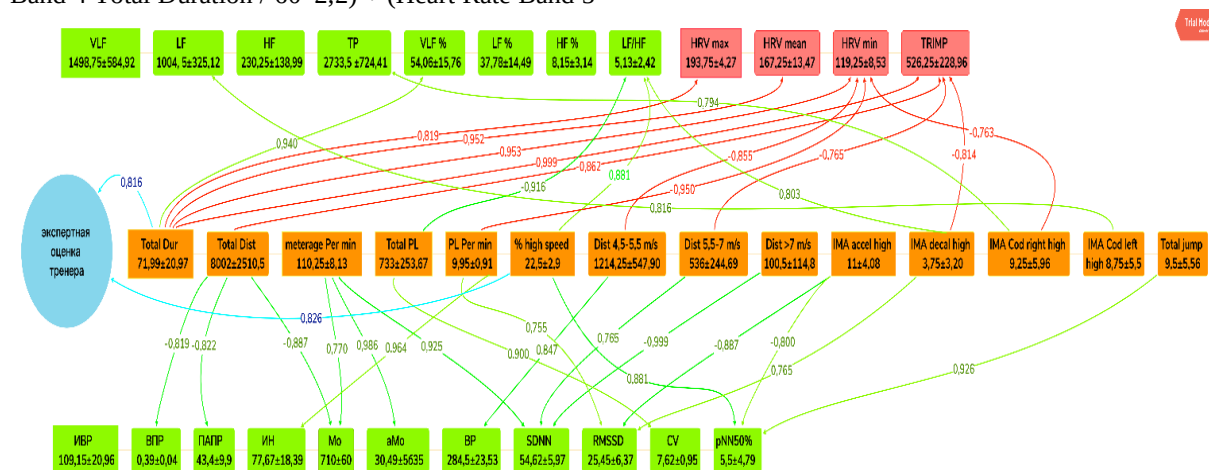


Рисунок 1 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями variability сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера нападающих команды u-2004, S±M

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Выяснилось, что нападающие команды U-2003 имеют существенно другие корреляционные взаимосвязи: ИН и IMA Cod left high ($r=0,815$); aMo и Dist >7m/s ($r=-0,805$); BP и IMA decal high ($r=0,794$); SDNN и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=0,817$); RMSSD и PL Per min ($r=-0,828$), и IMA decal high ($r=0,828$); CV и PL Per min ($r=0,770$); TP и metrage Per min ($r=-0,866$), и PL Per min ($r=-0,828$); VLF% и IMA accel high

($r=0,760$); LF% и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=-0,770$); HF% и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=0,800$), и Dist 5,5-7 m/s ($r=0,736$); LF/HF и meterage Per min ($r=0,857$); Total Dur и TRIMP ($r=0,875$); Total Dist и HRV min ($r=0,945$); IMA Cod left high и HRV max ($r=0,777$), и HRV mean ($r=0,754$), и HRV min ($r=0,910$), и ЭОТ ($r=0,758$) (Рис 2).

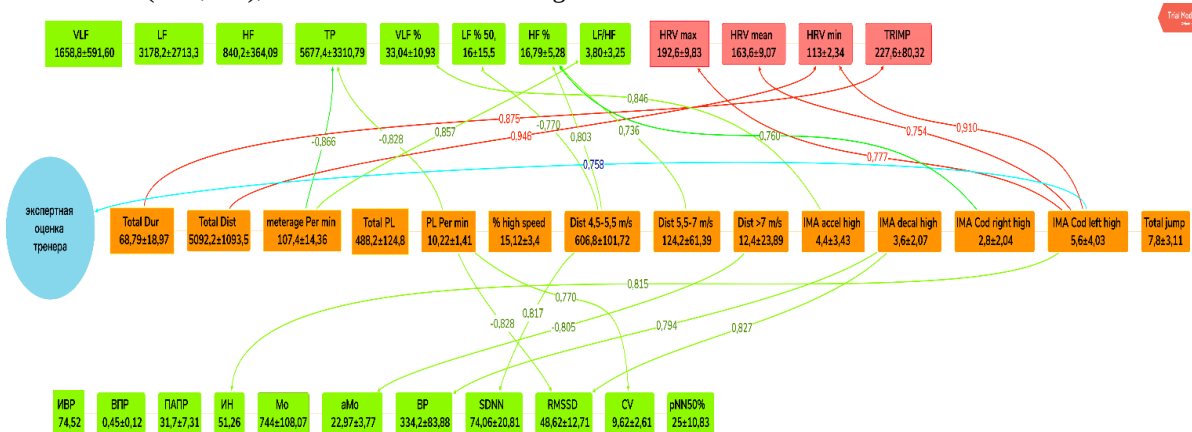


Рисунок 2 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями вариабельности сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера нападающих команды u-2003, $n=3$, $S \pm M$

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Сравнивая, полузащитников двух команд определилось, что полузащитники команды U-2004 имеют такие взаимосвязи: ПАПР и PL Per min ($r=0,874$); ИН и %high speed ($r=-0,965$), и Total PL ($r=-0,892$); Mo и Dist ($r=-0,995$); aMo и IMA decal high ($r=0,900$); BP и Total PL ($r=-0,978$), и Dist >7m/s ($r=0,845$); SDNN и Total Dist ($r=-0,819$); RMSSD и Total Dur ($r=-0,767$), и %high speed ($r=-0,958$), и Total jump ($r=0,909$); pNN50% и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=-0,918$); и Dist >7m/s ($r=0,987$); и IMA Cod right high

($r=-0,999$); HF и Total Dur ($r=-0,900$); TP и total Dist ($r=0,945$), VLF% и meterage Per min ($r=0,985$); LF% и Total PL ($r=-0,943$); LF/HF и PL Per min ($r=0,955$); Total Dur и HRV mean ($r=0,973$); Total Dist и HRV mean ($r=0,931$); %high speed и TRIMP ($r=0,906$); Dist 4,5-5,5 m/s и HRV max ($r=0,932$); Dist 5,5-7 m/s и HRV min ($r=0,756$); IMA decal high и TRIMP ($r=-0,990$); IMA Cod left high и TRIMP ($r=0,753$); Total jump и HRV max ($r=0,929$) (Рис. 3).

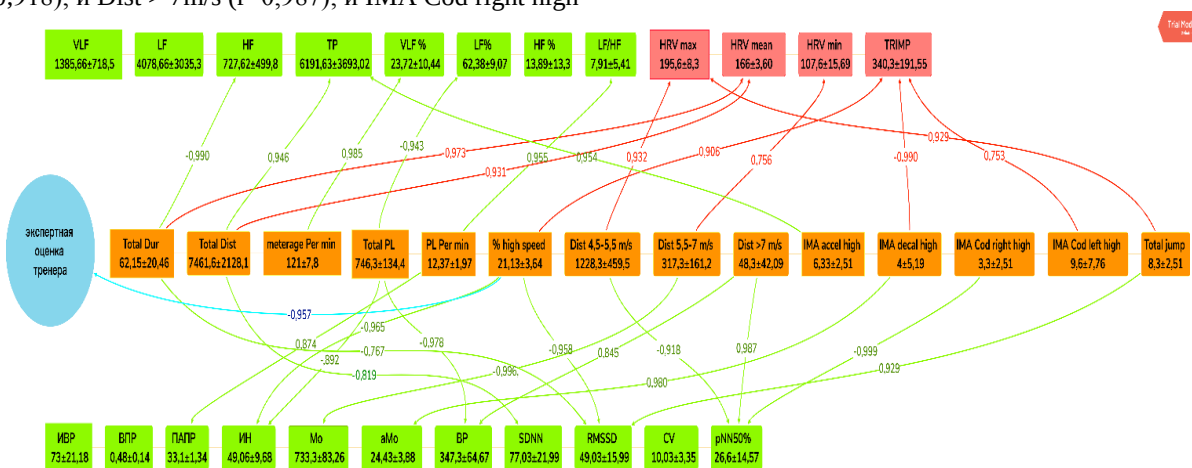


Рисунок 3 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями вариабельности сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера полузащитников команды u-2004, $n=4$, $S \pm M$

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Однако, изучая корреляционные взаимосвязи полузащитников команды U-2003 выяснилось различия с группой полузащитников команды U-2004. Были зафиксированы следующие взаимосвязи: ПАПР и Total Dist ($r=-0,971$); ИН и Total PL ($r=$

$0,798$), и %high speed ($r=-0,897$), и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=0,952$); Mo и Dist 5,5-7 m/s ($r=0,961$); SDNN и meterage Per min ($r=0,990$), и Dist >7m/s ($r=0,762$); pNN50% и Dist 5,5-7 ($r=0,992$), и Total jump ($r=0,812$); HF и Total Dist ($r=0,888$); LF% и meterage

Per min ($r=-0,820$); LF/HF и PL Per min ($r=0,986$); Total Dist и HRV max ($r=-0,967$), и TRIMP ($r=0,840$); Total PL и TRIMP ($r=0,999$); Dist 4,5-5,5 m/s и TRIMP ($r=-0,959$); Dist >7m/s и HRV max ($r=0,804$);

IMA accel high и HRV mean ($r=-0,790$); IMA decal high и HRV mean ($r=0,858$); IMA Cod left high и TRIMP ($r=0,878$); Total Dist и ЭОТ ($r=0,887$); PL Per min и ЭОТ ($r=0,967$) (Рис. 4).

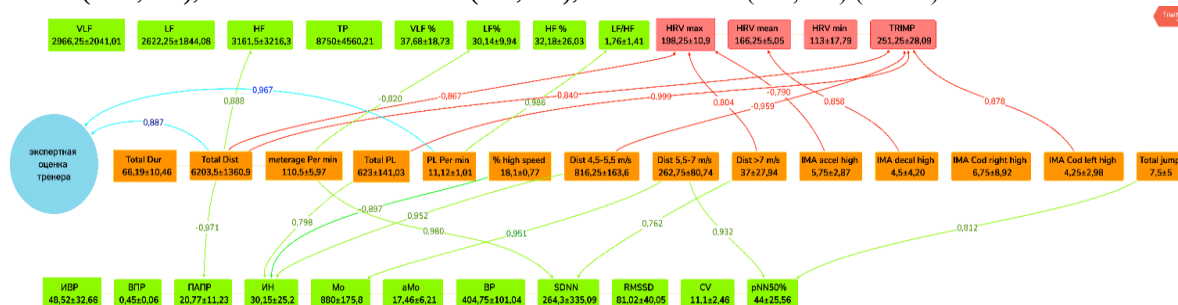


Рисунок 4 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями вариабельности сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера полузащитников команды и-2003, $n=5$, $S \pm M$

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Корреляция показателей у защитников команды U-2004 представлена далее: IBP и Total Dist ($r=-0,878$); ВПР и IMA Cod left high ($r=-0,929$); ПАПР и PL Per min ($r=0,874$); aMo и Total PL ($r=-0,858$), и IMA accel high ($r=-0,990$); BP и Dist >7 m/s ($r=-0,863$); SDNN и meterage Per min ($r=-0,852$); RMSSD и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=0,999$); CV и Dist 5,5-7 m/s ($r=0,806$); pNN50% и Dist 5,5-7 m/s ($r=0,821$); LF

и Total Dur ($r=-0,972$); HF и %high speed ($r=-0,765$); TP и PL Per min ($r=-0,901$), и %high speed ($r=0,987$); HF% и Total PL ($r=0,941$); LF/HF и Dist >7 m/s ($r=0,996$); Total Dur и HRV max ($r=0,862$); meterage Per min и TRIMP ($r=0,750$); Dist 4,5-5,5 m/s и TRIMP ($r=-0,829$); IMA decal high и TRIMP ($r=-0,990$); Total jump и HRV mean ($r=-0,963$); Total Dur и ЭОТ ($r=0,870$); Total PL и ЭОТ ($r=0,941$) (Рис. 5).

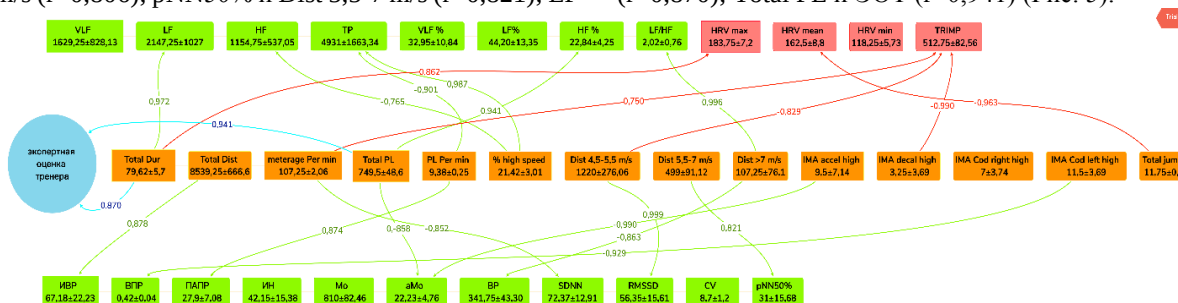


Рисунок 5 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями вариабельности сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера защитников команды и-2004, $n=4$, $S \pm M$

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Тем не менее, изучая корреляцию показателей у защитников команды U-2003 получилось следующее: IBP и Total Dist ($r=0,996$); ВПР и meterage Per min ($r=0,984$); ПАПР и meterage Per min ($r=0,973$), и PL Per min ($r=0,921$); ИН и meterage Per min ($r=0,821$), и Dist 4,5-5,5 m/s ($r=0,938$); BP и Total PL ($r=0,987$), и Dist 5,5-7 m/s ($r=0,993$); SDNN и %high speed ($r=0,988$), и Dist >7 m/s ($r=0,999$); CV и Dist >7 m/s ($r=0,999$), и IMA Cod right high ($r=0,999$); pNN50% и %high speed ($r=0,919$), и IMA accel high

($r=0,973$), и IMA Cod left high ($r=-0,904$); VLF% и %high speed ($r=-0,936$); LF% и Total PL ($r=-0,936$); Total Dist и TRIMP ($r=0,996$); Dist 4,5-5,5 m/s и HRV max ($r=0,989$), и HRV mean ($r=0,996$); Dist 5,5-7 m/s и HRV max ($r=0,987$); Dist >7 m/s и TRIMP ($r=0,995$), IMA accel high и HRV max ($r=0,994$), IMA decal high и HRV min ($r=0,994$); Total jump и TRIMP ($r=0,944$), Total Dist и ЭОТ ($r=-0,981$), Dist 4,5-5,5 m/s и ЭОТ ($r=0,966$) (Рис. 6).

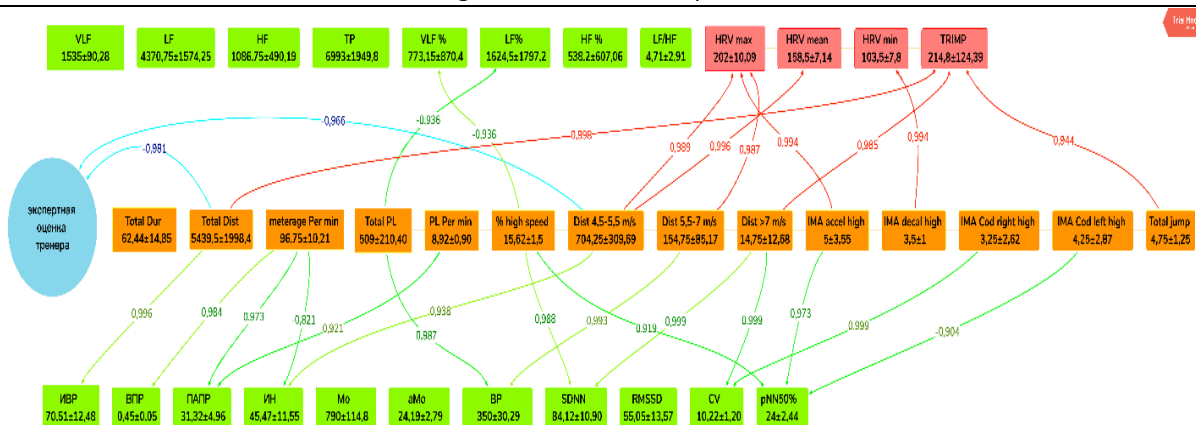


Рисунок 6 – корреляционная взаимосвязь между статистическими и спектральными показателями вариабельности сердечного ритма с показателями внешней, внутренней нагрузки и экспертной оценкой тренера защитников команды U-2003, $n=6$, $S \pm M$

Примечание: значения коэффициентов корреляции достоверны, $p < 0,05$

Обсуждение

Цели данного исследования ставились таким образом, чтобы найти взаимосвязи показателей вегетативной регуляции сердечной деятельности и параметрами физической и функциональной нагрузки, получаемых в процессе футбольных матчей у юных спортсменов-профессионалов разных возрастов и амплуа. Резюмируя полученные данные удалось выявить, что защитники и нападающие младшего возраста (команда U-2004) выполняют наибольший объем беговой нагрузки при игровой соревновательной деятельности, но напряжение ССС достаточно высокое, относительно команды U-2003, исходя из изучаемой выборки. Однако, футболисты каждого амплуа команд U-2004 и U-

2003 имеют разную степень готовности (по показателям ВСР), что свидетельствует о том, что физиологическая «цена», которую платит организм спортсменов за достижение состояния готовности к ответственной игре неодинакова (Рис. 7). Несмотря на то что показатели ритма сердца у юных спортсменов подвержены значительным индивидуальным колебаниям, в их изменениях проявляются определенные закономерности в связи с возрастом и уровнем тренированности исследуемых. В случае применения соревновательных нагрузок, неадекватных функциональному состоянию футболиста, а также при переутомлении, граничащем с перетренированностью, картина периодических составляющих будет подвержена значительным изменениям в сердечном ритме.

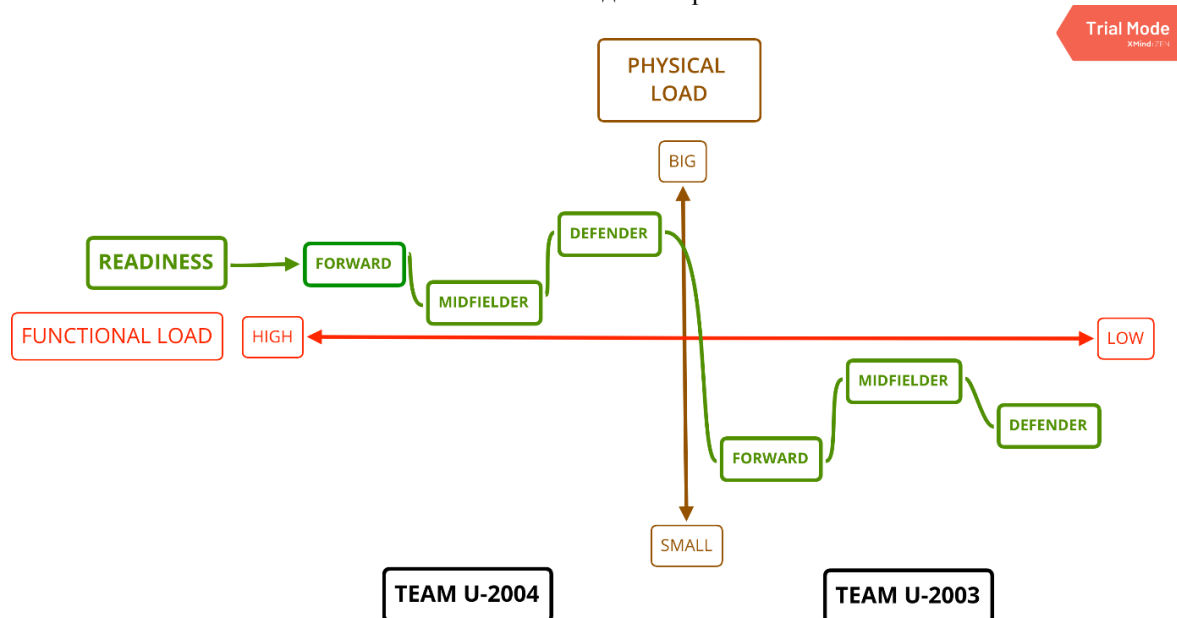


Рисунок 7 – готовность, физическая нагрузка и функциональная интенсивность нападающих, полузащитников, защитников команд U-2004, U-2003

Заклучение

Исследование показало тесную сопряженность статистических и спектральных показателей сердечного ритма с параметрами нагрузки и реакции сердечно-сосудистой системы юных спортсменов в течении футбольных игр. Таким образом, готовность футболистов-профессионалов к физическим нагрузкам возможно оценивать по параметрам ВСР в покое до предстоящей соревновательной деятельности, реакцию ССС на игровую нагрузку в процессе игры по параметрам физической нагрузки и динамике ЧСС. Изучение показателей вегетативной регуляции сердечного ритма и параметров физической и функциональной нагрузки у футболистов с различным амплуа требует дополнительных исследований в течение каждого периода сезона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шлык Н. И., Сапожникова Е. Н., Кириллова Т. Г., Семенов В. С. Типологические особенности функционального состояния регуляторных систем у школьников и юных спортсменов (по данным вариабельности сердечного ритма) // Физиология человека. 2008. Т. 35, № 6. С. 1-9.
2. Усилов А. А., Гущин А. Г. Анализ функционального состояния юных футболистов // Ярославский педагогический вестник. 2010. № 3. С. 56-59.
3. Tierney PJ, Young A, Clarke ND, Duncan MJ. Match play demands of 11 versus 11 professional football using Global Positioning System tracking: Variations across common playing formations. Hum Mov Sci 49: 1-8, 2016.
4. Muñoz-López, A., Granero-Gil, P., Pino-Ortega, J., & De Hoyo, M. (2017). The validity and reliability of a 5-hz GPS device for quantifying athletes' sprints and movement demands specific to team sports. Journal of Human Sport and Exercise, 12(1), 156-166.
5. Karl M. Stango, Rhys Thatcher, Ken A. van Someren (2007). A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. Journal of sport sciences. Issue 6. Pages 629-634.
6. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod MJ, Poulos N, Bourdon P. Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. Eur J Appl Physiol 109: 869–878, 2010.
7. Mann TN, Lamberts RP, Lambert MI. High responders and low responders: Factors associated with individual variation in response to standardized training. Sports Med 44: 1113–1124, 2014.
8. Christina Julien. Сайт компании «CATAPULT». [Электронный ресурс]: <https://wearables.catapultsports.com/hc/en-us/articles/360000510856-What-is-IMA->. (дата обращения: 26.03.2019)
9. Bradley PS, Ade JD. Are current physical match performance metrics in elite soccer fit for purpose or is the adoption of an integrated approach needed? Int J Sports Physiol Perform 13: 656-664 2018
10. Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS. The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. Int J Sports Med 35: 1095-1100, 2014
11. Anderson L, Orme P, Di Michele R, Close GL, Morgans R, Drust B, et al. Quantification of training load during one-two and three-game week schedules in professional soccer players from the English Premier League: Implications for carbohydrate periodization. J Sport Sci 34: 1250-1259, 2016

SOME TENDENCIES IN ORGANIZATIONS OF GENES, ENCODING BETA-GALACTOSIDASES AT STREPTOMYCETES

Polishchuk L.

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of
Laboratory of Microbial Genetics of
Zabolotny Institute of Microbiology and Virology of NASU,
Kyiv, Ukraine

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕНОВ, КОДИРУЮЩИХ БЕТА-ГАЛАКТОЗИДАЗЫ У СТРЕПТОМИЦЕТОВ

Полищук Л.

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
лаборатории генетики микроорганизмов
Института микробиологии и вирусологии им. Заболотного НАНУ; Киев, Украина

Abstract

Correlation between molecular sizes of the genomes of these 8 streptomycetes strains from and the number of genes encoding beta-galactosidases in them has been declared. The presence of several paralogs of some β -galactosidase genes in the genomes of 5 studied streptomycetes was determined. Based on homology of primary structures of β -galactosidase genes, they can be divided into 5 groups.

Аннотация

Установлено наличие корреляции между молекулярными размерами геномов 8 штаммов стрептомицетов и количеством в них генов, кодирующих β -галактозидазы. Определено присутствие нескольких

паралогов некоторых β -галактозидазных генов в геномах 5 исследованных стрептомицетов. Основываясь на гомологии первичных структур β -галактозидазных генов, их можно разделить на 5 групп.

Ключевые слова: стрептомицет, β -галактозидазный ген, гомологичность, покрытие, геном, компьютеризированный анализ, первичная структура.

Keywords: streptomycete, β -galactosidase gene, homology, overlap. genome, computerized analysis, primary structure.

Бета-галактозидазы присутствуют в микроорганизмах, таких как грибы, бактерии и дрожжи; в клетках растений и животных. Важными промышленными продуцентами фермента являются *Aspergillus sp.* и *Kluyveromyces sp.* [1 - 5].

β -галактозидазы относятся к классу гидролаз (КФ 3.2.1.23). Бета-галактозидазы – гомотетрамеры, состоящие из 4 одинаковых протеинов. Энзимы производят гидролиз б-связей в молекулах различных углеводных субстратов как в простых (например, лактаза), так и в сложных (гликопротеинах, гликолипидах, гликозилированных флавоноидах) [1, 2]. Так, при ферментации гликозидов даидзина и генистина образуются изофлавоны даидзеин и генистеин, соответственно. Как известно, соевая мука часто используется при приготовлении питательных сред для стрептомицетов и грибов [6,7].

Целью данного исследования было определение сходства первичных структур генов, кодирующих бета-галактозидазы у 8 штаммов из рода *Streptomyces*.

Материалы и методы. В работе рассматривались первичные структуры геномов и генетические карты следующих стрептомицетов: *S. lividans* TK24 (NZ_CP009124.1), *S. lincolnensis* NRRL 2936 (NZ_CP016438.1), *Streptomyces sp.* CC0208 (NZ_CP031969.1), *S. davawensis* JCM 4913 (NC_020504.1), *S. griseus* группа: *S. globisporus* C-1027 (NZ_CP013738.1), *S. griseus* NBRC 13350 (NC_010572.1); *S. albidoflavus* группа: *S. albidoflavus* J1074 (NC_020990.1), *S. coelicolor* A3(2) (NC_003888.3) в Интернет базах данных сервера NCBI (National Center of Biotechnological Information. Bethesda. MD. USA) [<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/>].

Нуклеотидные последовательности 40 генов, кодирующих бета-галактозидазы (β -gal генов) 8 штаммов стрептомицетов были использованы в данных исследованиях: *S. globisporus* C-1027 (WQO_04730), *S. lividans* TK24 (SLIV_RS02320, SLIV_RS06480, SLIV_RS10210, SLIV_RS25540), *S. lincolnensis* NRRL 2936 (SLINC_RS04375, SLINC_RS12345, SLINC_RS13745, SLINC_RS14555, SLINC_RS32460,

SLINC_RS33940, SLINC_RS40295, SLINC_RS43485, SLINC_RS43740), *Streptomyces sp.* CC0208 (D1369_RS11245, D1369_RS03580, D1369_RS09485, D1369_RS11245, D1369_RS19035, D1369_RS25880, D1369_RS28280, D1369_RS29060, D1369_RS30550, D1369_RS35720, D1369_RS37445, D1369_RS41160), *S. davawensis* JCM 4913 (BN159_RS13365, BN159_RS31915, BN159_RS39860), *S. griseus* NBRC 13350 (SGR_RS27465), *S. coelicolor* A3(2) (SCO0766, SCO2430, SCO5689, SCO6347, SCO6457, SCO7407), *S. albidoflavus* J1074 (XNR_RS08350).

Сравнительный компьютеризированный анализ нуклеотидных последовательностей β -gal генов проводили с помощью программ (blastn и bl2seq: discontinuous megablast) из пакета BLAST на сервере NCBI [<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>]. Предложенные в программе BLAST основные параметры алгоритма поиска гомологий первичных структур ДНК были использованы без изменений.

Результаты и их обсуждение. Цель представленной работы - установить наличие гомологии нуклеотидных последовательностей 40 β -gal генов 8 штаммов стрептомицетов. Далее по тексту под «аналогичными» будут подразумеваться гены, кодирующие ферменты, выполняющие одну и ту же функцию.

При анализе первичных структур и генетических карт 8 штаммов стрептомицетов установлено, что в геномах исследованных штаммов содержится от 1 до 12 β -gal генов.

Молекулярные размеры геномных ДНК изучаемых стрептомицетов были диапазоне от 6841649 п.н. (*S. albidoflavus* J1027) до 10319054 п.н. (*S. lincolnensis* NRRL 2936). Как правило, геномы большинства стрептомицетов имеют размеры от 8,0 М.п.н. до 9,0 М.п.н. [8].

Установлена определенная корреляция между молекулярными размерами хромосомной ДНК штаммов стрептомицетов рассматриваемой выборки штаммов и количеством генов, кодирующих β -галактозидазы в них (Рис. 1).

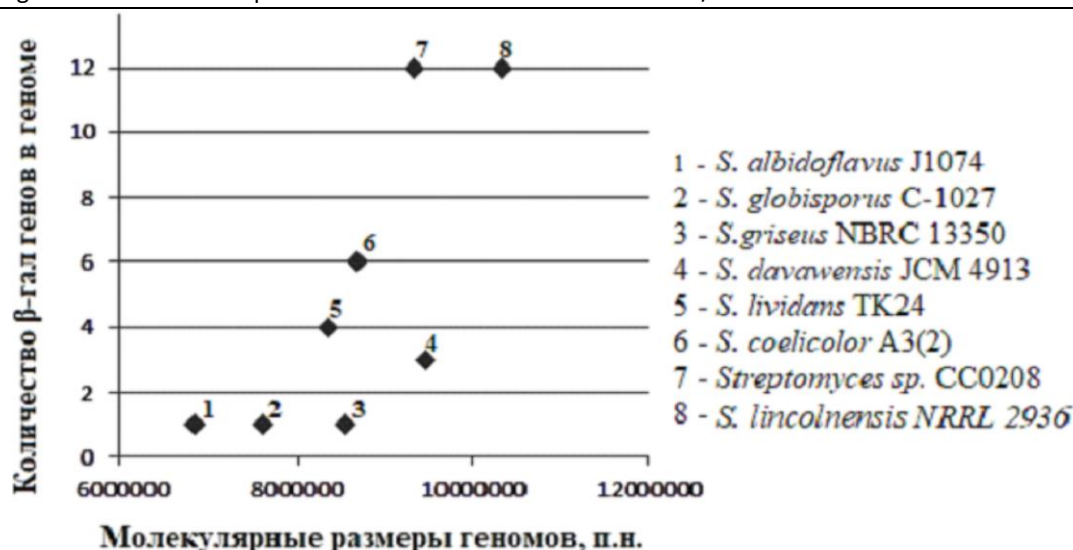


Рис. 1. Соотношение количества β -gal генов в геноме стрептомицета и его молекулярного размера

Так в геномах с наименьшим размером *S. albidoflavus* J1074 (6841649 п.н.) и *S. globisporus* C-1027 (7608611 п.н.) присутствует по 1 β -gal гену, а в геноме *S. lincolnensis* NRRL 2936 (10319054 п.н.) представлено 12 генов. Однако в геномах штаммов *S. davawensis* JCM 4913 (9466619 п.н.) и *Streptomyces* sp. CC0208 (9320089 п.н.) содержится соответственно 3 и 12 аналогичных генов.

Представляет интерес определить сходство первичных структур различных β -gal генов в геноме одного штамма стрептомицета.

Проведен сравнительный компьютеризированный анализ (bl2seq: discontinuous megablast) первичных структур β -gal генов штаммов *S. coelicolor* A3(2), *S. lividans* TK24, *S. davawensis* JCM 4913 и *Streptomyces* sp. CC0208 (содержащих, соответственно, 6, 4, 3 и 12 генов). Установлено, что последовательности только 2 генов *S. coelicolor* A3(2) - SCO7407 и SCO5689 - имели достаточную степень гомологии (Таблица 1).

Таблица 1

Гомологичность первичных структур генов, кодирующих бета-галактозидазы у штамма *S. coelicolor* A3(2)

Показатели гомологии нуклеотидных последовательностей β -gal генов штамма <i>S. coelicolor</i> A3(2).						
β -gal гены	SCO0766 3087 п.н.	SCO2430 2802 п.н.	SCO5689 1971 п.н.	SCO6347 1788 п.н.	SCO6457 3924 п.н.	SCO7407 ^Q 2046 п.н.
SCO0766 ^S 3087 п.н.	Qc=100% I=100%					
SCO2430 2802 п.н.		Qc=100% I=100%				
SCO5689 1971 п.н.			Qc=100% I=100%			Qc=72% I=68%
SCO6347 1788 п.н.		Qc=15% I=79%		Qc=100% I=100%		
SCO6457 3924 п.н.					Qc=100% I=100%	
SCO7407 2046 п.н.			Qc=69% I=68%			Qc=100% I=100%

Примечание: I – гомология структур (Identity); Qc – покрытие (Query cover). ^Q - последовательность гена используется как запрос (query) при выравнивании с помощью программ BLASTN, ^S - последовательность гена используется как объект (subject)

На генетической карте штамма *S. lincolnensis* NRRL 2936 представлено 12 генов, кодирующих β -галактозидазы. Компьютеризированным анализом установлено, что нуклеотидные последовательности пяти β -gal генов не имеют достаточной гомологии (покрытие фрагментов не более 25%) с последовательностями других β -gal генов штамма: SLINC_RS12345, SLINC_RS13745, SLINC_RS14555, SLINC_RS33940 и

SLINC_RS4029. Наибольшей гомологией характеризуются структуры 3 β -gal генов SLINC_RS39965, SLINC_RS43485 и SLINC_RS43670.

Нуклеотидные последовательности 3 β -gal генов *S. davawensis* JCM 4913 не имели гомологии их структур между собой, определяемых данным методом.

При анализе первичных структур 12 β -gal генов штамма *Streptomyces* sp. CC0208 было установлено, что наиболее гомологичными являются нуклеотидные последовательности генов D1369_RS41160, D1369_RS25880 и D1369_RS37445. Первичные структуры пяти генов D1369_RS01945, D1369_RS28280, D1369_RS29060, D1369_RS35720 и D1369_RS19035 не были гомологичными последовательностям ни одного из β -gal генов штамма *Streptomyces* sp. CC0208.

Проведено определение сходства первичных структур β -gal генов как в одном геноме, так и в геномах разных штаммов стрептомицетов. Анализом (bl2seq: discontinuous megablast) определено количество нуклеотидных последовательностей в вы-

борке из 40 генов 8 штаммов стрептомицетов, гомологичных каждому из β -gal генов в выборке. Учитывались последовательности с показателем гомологии последовательностей (Identity) не ниже 66% и протяженностью (покрытием - Query cover) не менее 15% (Рис. 2).

Анализом установлено, что первичные структуры β -gal генов из геномов 8 стрептомицетов в различной степени гомологичны между собой. Как пример, у 6 β -gal генов показано суммарное (в геномах нескольких штаммов из выборки) наличие 16 генов, из них первичные структуры 5 генов имели максимальные показатели их покрытия. Кроме того, показано что 4 β -gal гена имеют уникальные первичные структуры.



Рис. 2. Количество нуклеотидных последовательностей в выборке из 40 генов, гомологичных каждому из β -gal генов в выборке:

1 - SLINC_RS04375, 2 - SLINC_RS12345, 3 - 30 - SCO2430, 31 - SCO5689, 32 - SCO6347, 33 - SLINC_RS13745, 4 - SLINC_RS14555, 5 - SCO6457, 34 - SCO7407, 35 - XNR_RS08350, 36 - SLINC_RS32460, 6 - SLINC_RS33940, 7 - SGR_RS27465, 37 - WQO_RS07795, 38 - SLINC_RS39965, 8 - SLINC_RS40295, 9 - BN159_RS13365, 39 - BN159_RS31915, 40 - SLINC_RS41655, 10 - SLINC_RS43485, 11 - BN159_RS39860. А – гены с показателем покрытия SLINC_RS43670, 12 - SLINC_RS43740, 13 - 100% - 80%, Б - гены с показателем покрытия менее D1369_RS01945, 14 - D1369_RS03580, 15 - 80%. D1369_RS09485, 16 - D1369_RS11245, 17 - D1369_RS19035, 18 - D1369_RS25880, 19 - D1369_RS28280, 20 - D1369_RS29060, 21 - D1369_RS30550, 22 - D1369_RS35720, 23 - D1369_RS37445, 24 - D1369_RS41160, 25 - SLIV_RS02320, 26 - SLIV_RS06480, 27 - SLIV_RS10210, 28 - SLIV_RS25540, 29 - SCO0766,

На основании полученных результатов сделано предварительное заключение, что по гомологии первичных структур β -gal генов из геномов 8 стрептомицетов можно разделить на 5 групп (Таблица 2).

Таблица 2

Группы β -gal генов стрептомицетов, основанные на гомологии их первичных структур				
№ группы	Гомологичные β -gal гены			Штаммы стрептомицетов
1	SLINC_RS04375, SLINC_RS32460, SLINC_RS33940, SLINC_RS41655, SLINC_RS43740	5		<i>S. lincolnensis</i> NRRL 2936
	D1369_RS09485, D1369_RS11245, D1369_RS25880, D1369_RS37445, D1369_RS41160	5		<i>Streptomyces</i> sp. CC0208
	SLIV_RS02320, SLIV_RS10210	2		<i>S. lividans</i> TK24
	SCO5689, SCO7407	2		<i>S. coelicolor</i> A3(2)
	BN159_RS13365, BN159_RS39860	2		<i>S. davawensis</i> JCM 4913
2	SLINC_RS12345, SLINC_RS13745, SLINC_RS40295	3		<i>S. lincolnensis</i> NRRL 2936
	D1369_RS03580, D1369_RS29060, D1369_RS30550	3		<i>Streptomyces</i> sp. CC0208
	SLIV_RS06480	1		<i>S. lividans</i> TK24
	SCO6347	1		<i>S. coelicolor</i> A3(2)
	SGR_RS27465	1		<i>S. griseus</i> NBRC 13350
	WQO_RS07795	1		<i>S. globisporus</i> C-1027
	BN159_RS31915	1		<i>S. davawensis</i> JCM 4913
3	SLINC_RS14555, D1369_RS01945	2		<i>S. lincolnensis</i> NRRL 2936
	D1369_RS28280	1		<i>Streptomyces</i> sp. CC0208
	SLIV_RS25540	1		<i>S. lividans</i> TK24
	SCO2430	1		<i>S. coelicolor</i> A3(2)
4	SLINC_RS39965, SLINC_RS43485, SLINC_RS43670	3		<i>S. lincolnensis</i> NRRL 2936
	D1369_RS35720	1		<i>Streptomyces</i> sp. CC0208
5*	D1369_RS19035	1		<i>Streptomyces</i> sp. CC0208
	SCO0766	2		<i>S. coelicolor</i> A3(2)
	SCO6457			
	XNR_RS08350	1		<i>S. albidoflavus</i> J1074

Примечание: * - β -gal гены, с уникальными первичными структурами.

Выводы. Установлено наличие определенной корреляции между молекулярными размерами генов штаммов стрептомицетов из рассматриваемой выборки штаммов и количеством генов, кодирующих β -галактозидазы в них: чем больше молекулярный размер генома, тем больше может содержаться в нем β -gal генов.

Так же определено присутствие паралогов (2 - 5) β -gal нескольких (1 - 3) генов в геномах некоторых из исследованных стрептомицетов. Основываясь на гомологии первичных структур β -gal генов, 40 генов из геномов 8 стрептомицетов можно разделить на 5 групп.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Husain Q. Beta galactosidases and their potential applications: a review // *Crit rev Biotechnol*. 2010; 30(1): 41-62.
2. Rao M.V., Dutta S.M. Lactase activity of microorganisms // *Folia Microbiol (Praha)*. 1978; 23(3): 210-215.
3. Тихомирова А.С., Куликова А.К., Феникова Р.В. Образование β -галактозидазы в культурах

грибов и бактерий // *Микробиология*. 1974; 43(2): 257-260.

4. Clark P.J., Marr A.G. Studies on the repression of β -galactosidase in *E. coli* // *Biochim. of Biophys. Acta*. 1964; 92(1): 85-98.

5. Гомартели М.М., Куликова А.К., Церетели А.К., Безбородов А.М., Квеситадзе Г.И. β -галактозидаза *Penicillium canescens* шт. 20171 // *Прикл. биохимия и микробиол.* 1988; 24(1): 20-27.

6. Лутченко В.А., Полищук Л.В. Бета - галактозидазная активность мутантов *Streptomyces globisporus* 1912. В кн : Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях пищевых продуктов и продуктов питания. Москва: ARRIFBT; 2012: 44-48.

7. Тихомирова А.С., Летунова Е.В. Влияние компонентов соевой муки на биосинтез грибной β -галактозидазы // *Прикл. биохимия и микробиол.* 1979; 15 (1): 63-69.

8. Valu G., Szabó G. Comparison of deoxyribonucleic acids from *Streptomyces griseus* strains // *Acta Biol Acad Sci Hung.* 1970; 21(4): 375-9.

EARTH SCIENCES

DESIGNING EDUCATIONAL NATURE TRAILS WITHIN A SUBURBAN PROTECTED NATURAL AREA

Degteva A.,

MS student, Department of Ecology,

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Podolsky A.

Professor, Department of Ecology,

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Russia

Abstract

The article considers educational nature trails as a necessary element of comprehensive environmental education at protected natural areas. The ecological routes designed on the territory of Kumysnaya Polyana Nature Park, their designation and the tasks, the completion of which is required during the project implementation, are reviewed in this publication.

Keywords: educational nature trails, protected natural area, Nature Park, Kumysnaya Polyana, environmental education.

Currently, the issue of environmental culture is particularly relevant. This is due to the growing human impact on protected natural areas. The method of presenting material is of great importance in conducting environmental education. Up-to-date infrastructure elements offered for training and an opportunity to observe natural environment is the basis of high-quality environmental education. The formation of ecological culture should be the focus of activities conducted within suburban protected natural areas.

Designing educational nature trails within the suburban protected natural areas may contribute to the protection and restoration of ecosystems and promote their rational management. An educational nature trail is a specialized route set in natural environment. Walking the educational nature trail combines both recreational and learning activities. A society with a developed environmental culture of the population is formed via studying natural objects in natural environment. This contributes to the implementation of the fundamental principle of international standard for environmental education: education about the environment, through the environment and for the environment.

The Kumysnaya Polyana Nature Park is located near the city of Saratov, Russia. The area of the Nature Park is 4.4 thousand hectares. Recreational and health improving facilities for adults and children as well as ski resorts are located on the territory of the forest. Forest management in the park is in progress. Work is underway on the removal of garbage, and protection and preservation of forests. The objectives of the functioning of the Nature Park are to preserve the unique natural complex of the suburban forest, environmental education and recreation in natural environment.

The forest plant communities of the Kumysnaya Polyana Nature Park are built predominantly by five tree species: English oak (*Quercus robur* L.), European

maple (*Acer platanoides* L.), small-leaved lime-tree (*Tilia cordata* Mill.), aspen (*Populus tremula* L.) and white birch (*Betula pendula* Roth.). Numerous representatives of the forest fauna are fox, least weasel and white-bellied hedgehog. The main representatives of the avifauna of the forest are common Chaffinch, Collared Flycatcher, Great Tit, Blue Tit, Common Blackbird, and Song Thrush.

Conducting environmental education activities is essential for nature protection in the Nature Park. At present, educational activities within Kumysnaya Polyana Nature Park are represented by a comprehensive environmental program. Part of this program is designing educational nature trails.

Expanding knowledge of natural objects and ecological processes, studying the impact of human activities on ecosystems, and acquiring the skills of integrated environmental assessment are the main goals of designing educational nature trails. The tasks of creating educational nature trails are education about the environment and tourist recreation. The main requirements put forward in the course of designing such route are the aesthetic appeal of the area, degree of difficulty of the terrain, and relevance of educational materials advertised along the educational nature trail.

The main types of activities required for the creation of educational nature trails are the strengthening of the roadway and the installation of small architectural structures (information boards, signs, bridges, etc.).

The results of educational nature trails' design within a suburban protected natural area Kumysnaya Polyana Nature Park include the development of three educational nature trails.

Educational nature trail #1 is a route 7.1 km long. The walking time for this nature trail varies in the range from 2.5 to 3.5 hours (excluding prolonged stops). This educational nature trail is presented in Figures 1 and 2.

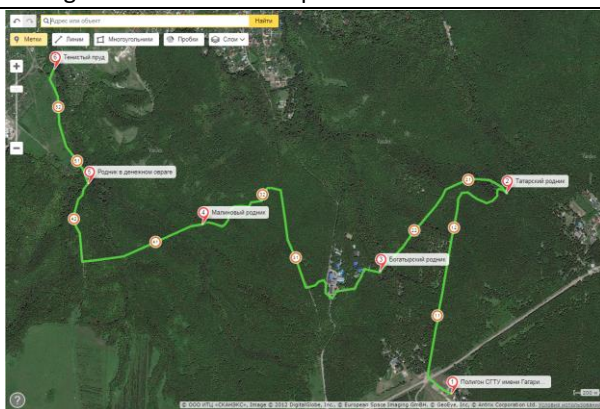


Figure 1. Educational nature trail #1, satellite view

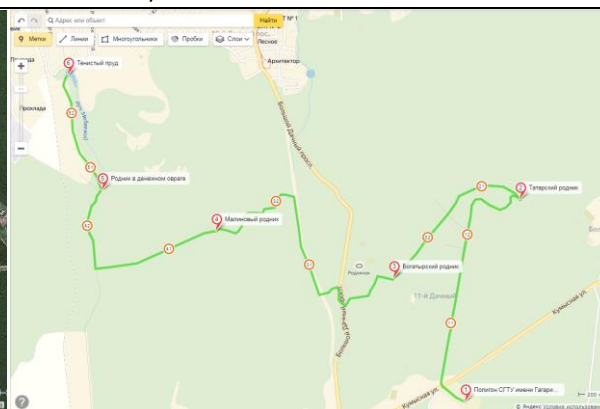


Figure 2. Educational nature trail #1, schematic view

Educational nature trail #2 is a route 5.1 km long. The walking time for this nature trail varies in the range

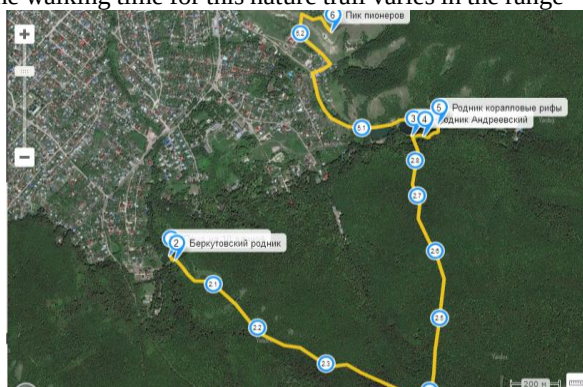


Figure 3. Educational nature trail #2, satellite view

from 3 to 4 hours (excluding prolonged stops). The nature trail #2 is presented in Figures 3 and 4.



Figure 4.
Educational nature trail #2, schematic view

Educational nature trail #3 is a route 4 km long. The walking time for this nature trail varies in the range

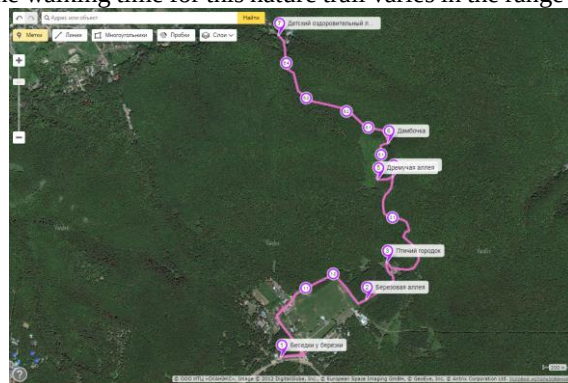


Figure 5. Educational nature trail #3, satellite view

from 1.5 to 2.5 hours (excluding prolonged stops). The nature trail #3 is presented in Figures 5 and 6.

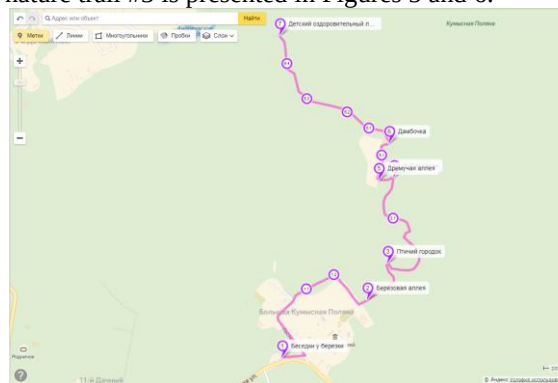


Figure 6.
Educational nature trail #3, schematic view

Travel time is given approximately based on our pilot studies. Educational nature trails are quite accessible. They have access roads and do not run along steep ascents and descents. Educational nature trails intersect different types of landscape complexes and ecosystems. This is ensured by laying out trails both on plateau and on the slopes of various aspects, as well as along the bottom of ravines. The trails are expected to run through forested areas as well as open space.

Designing educational nature trails is one of the most important tasks of any protected natural area. The Kumysnaya Polyana Nature Park serves as an enormous air filter providing city of Saratov with clean air.

The implementation of environmental activities within its area directed at raising environmental awareness of the population would facilitate preserving the Nature Park ecosystems experiencing heavy impact of human activities.

REFERENCES:

1. Palmer J.A. Environmental Education in the 21st Century: Theory, Practice, Progress, and Promise. London: Routledge, 1998. – 284 pp.
2. Protected natural areas [Electronic resource]. – Access link: <http://www.zapoved.ru/main/missions>. – Accessed on 07.04.19.

3. Stepanitskiy V. Environmental education activities at nature reserves and national parks [Electronic resource]. – Access link: <http://www.ecoethics.ru/old/b53/10.html>. – Accessed on 08.04.19.

4. Demidov V.A. Theoretical grounds and practical implementation of the Environmental Education

Nature Trail Project [Electronic resource]. – Access link: <https://sites.google.com/site/blokalkany/teoreticeskoe-obosnovanie-i-prakticeskaa-realizacia-proekta-ekologiceskaa-tropa>. – Accessed on 10.04.19.

WATER BALANCE THEORY IS MORE THAN 340 YEARS OLD

Iofin Z.

*Doctor of technical sciences, Ph.D., Professor,
Institute of Mathematics and Rational usage of natural resources,
Vologda State University*

Abstract

Since Pierre Perrault's publications (1674) and till nowadays water balance equation was used despite it resulted to serious errors in calculation, due to one of its terms absence. This article provides linear-correlation model, which does not have this drawback.

Keywords: linear correlation model, infiltration capacity, depth of absorption into the soil, water balance equation, soil water storage, soil moisture, capillary fringe.

Introduction

Water balance is the basis for assessment of water resources in different river basins and territories. It is one of the parameters for hydroeconomic calculations. The results of such calculations determine the capacity of reservoirs, the required water inflow from rivers and reservoirs, irrigation regime evaluation, assessment of water resources of the territories and so on. The attempt is made in this article to acquaint the professional community of hydrologists and specialists in related fields of knowledge with a new approach to water balance theory and water balance equation.

The suggested approach differs from the existing one in the running value of the regression coefficient of the correlation between the runoff depth and precipitation depth. The variable regression coefficient is included in all the calculation formulae within the linear-correlation model introduced by the author. In fact it regulates all the correlations in the model.

The existing water balance equation by Pierre Perrault (1674) can calculate only one water balance parameter. The suggested approach based on the dependence between the river runoff depth and precipitation depth is a guarantee of calculating more than ten water balance parameters (Iofin 2013). They are: R_T - depth of absorption into the soil before water formation, R_o - depth of surface detention, R_r - depth of absorption into the soil during flood recession, $E = R_T + R_o + R_r$ - depth of potential natural water loss, E_b - depth of free-water-surface evaporation, E_p - transpiration depth for the river basin as a whole, U - infiltration capacity into the ground water, V_d - soil moisture, h - soil water storage, K_V - layer of capillary fringe, $2b_5$ - depth of the subsurface runoff, U_y - layer of surface water exchange and U_d - layer of underground water exchange between neighboring river basins.

Such a difference in the number of calculated water balance parameters is not accidental. This is primarily due to the constant regression coefficient in the equation by Pierre Perrault (1674). In this equation the regression coefficient of the dependence between the

river runoff depth and precipitation depth is equal to unity. This is the equation by Pierre Perrault:

$$P = Y + E \quad (1),$$

or

$$Y = P - E \quad (2)$$

In equation (1) the regression coefficient for Y is equal to unity, $k = 1$.

The situation is not so clear in case of the constant coefficient of regression of the straight line correlation (2). It happens that the same amount of precipitation falls in the catchment areas, but they may be different in size. As the coefficient of regression is equal to unity, river runoff depths in these catchment areas turn out to be equal too. However, they cannot be the same. On any surface there are unconditional precipitation losses which result in the real regression coefficient and in different river runoff depths as well. Also, equation (1) does not include the parameter of extensive underground basin. Therefore, equation (1) cannot be called the equation of water balance. It does not show precipitation loss by all the components of water balance. The serious error in equation (1) may occur due to the lack of precipitation loss by groundwater recharge.

Many scientists (Voeikov 1884; Oldekop 1911; Velikanov 1940; Alekseev 1962; Befany 1989) were aware of the fact that the structure of equation (1) must be changed. A large group of hydrologists and hydroeconomic specialists (Budyko 1956; Andreyanov 1960; Mezentsev 1969; Bulavko 1971; Babkin 1982; Koronkevich 1990) studied the problems of water balance equation. They suggested various types of water balance equations, but all the scientists returned to equation (1) regardless of their differences. These attempts were unsuccessful due to the fact that there was no common way to calculate infiltration in different catchment areas in the absence of hydrogeological regime observations. Hence, it became impossible to prove the comprehensive structure of the water balance equation and improve the accuracy of calculation with the help of equation (1).

Materials and methods

The presented results were obtained after the analysis of the observation data from 53 catchment areas of Russian water balance stations, 46 catchment areas in Northwest Russia, 22 catchment areas in Eastern Cuba and 6 catchment areas in Italy.

It is hard to believe that since the time of Pierre Perrault, little has been changed in the water balance theory and the structure of the water balance equation. Still, the equations introduced by Velikanov (1940) and Befany (1989) suggested more unbiased structures of water balance equation:

$$P = E + Y + U + d \quad (3)$$

$$Y = P - E - U_{n+1} \quad (4)$$

where P = depth of precipitation in the catchment area, mm;

Y = river runoff depth, mm;

U_{n+1} = infiltration capacity into groundwater which is lower than the river bed, mm;

E = depth of potential natural water loss, mm;

d = layer of water exchange between the adjacent basins under the ground, mm.

In equations (3) and (4) U_{n+1} and d are unknown quantities. They certainly can be calculated using hydrogeological monitoring observation data. But, these monitoring observations do not cover all the river basins and the majority of ordinary river basins do not contribute such observations. Therefore, in case there were no monitoring observation data concerning groundwater levels in the wells it was impossible to calculate infiltration in the whole catchment area. Even if such observations were present, then another even more difficult problem of representing the spatial variability of this value would arise. For these reasons, the revision of the structure of equation (1) also remained impossible.

A new linear-correlation model of water balance based on the straight line equation “runoff-precipitation” (Iofin 2013) was introduced while searching for a way out of this difficult situation. The method of least rectangles (or the method of equally provided values) is used to estimate the quality of such a correlation. This method leads the results to functional correlations. The least rectangles method substantiated by Alekseev (1962) is easy to use. One should arrange the figures corresponding to the predictands and the predictors in decreasing order.

The “runoff-precipitation” graphs are made for two most common types of the flat land run off: perched and banked-up slope runoffs. In one of the works (Befany 1989) it is proved that the perched runoff occurs due to the surface water formation, i.e. due to heavy precipitation which exceeds surface-water infiltration. The banked-up slope runoff appears in the areas with shallow groundwater when the latter rises to the surface. As these two types of the slope runoff are formed under different conditions, their water balance parameters are calculated with the help of different mathematical expressions. Let us consider the mathematical expressions which are characteristic of these types of the runoff.

Some explanations and final expressions are presented here, the development of the correlations are omitted.

In the article the following straight line equations are regarded as the variants of water balance equation:

$$Y = P - b_4, \text{ mm} \quad (5)$$

$$Y = k_4 P - b_4, \text{ mm} \quad (6)$$

Equation (5) represents the existing water balance equation with the regression coefficient equal to unity. Equation (6) is a suggested variant of water balance equation (Iofin 2013).

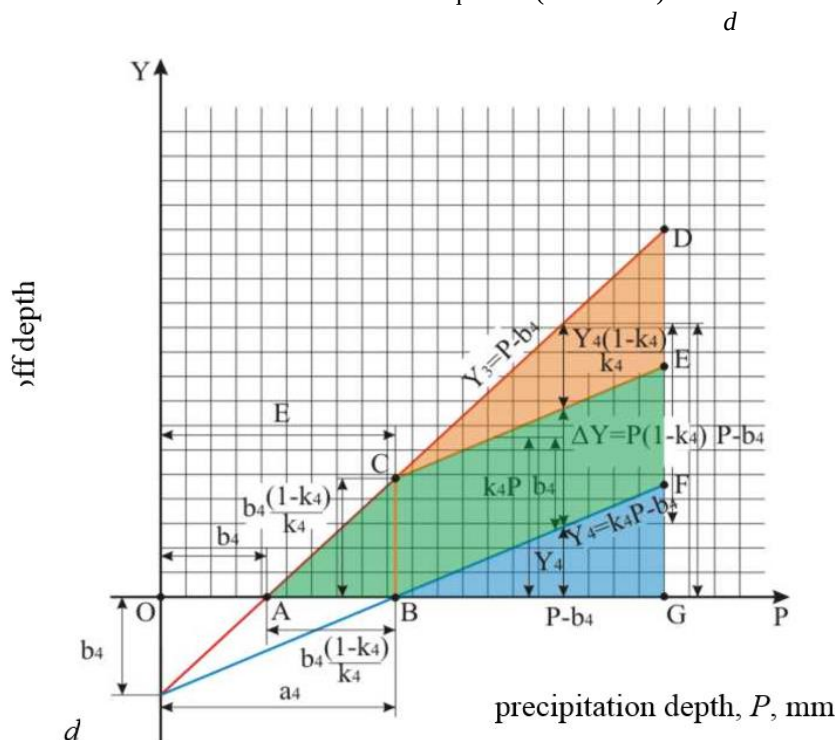


Figure 1. Graphic presentation of water balance parameters (with negative b)

face without forming any runoff. Active water formation represents the runoff which was accumulated on the ground surface.

The absorption loss within the recession period $b_5 \frac{1-k_5}{k_5}$, where b_5 is positive, can occur during the processes of both passive and active water formation.

Segment $b_5 \frac{1-k_5}{k_5}$ is formed during the process of passive water formation when the depressions of microrelief are filled at the moment of minimum absorption in its decrease. This decrease of absorption is formed by microrelief, soil and rainfall intensity (Befany 1989). Microrelief is filled with the excess water on the surface. The excess water is connected with the rate of the absorption decrease and microrelief.

Active water formation (segment BF , Fig. 2) starts when the microrelief depressions which prevent from the runoff are filled.

Active water formation presents water storage which forms the runoff. Rectangle $BFGH$ (Fig. 2) is re-

stricted by value $b_5 \frac{1-k_5}{k_5}$ and occurs only due to the process of passive water formation. At the same time water formation process can occur when the ground water table is very close to the daylight surface. In this case the soil water capacity is maximum by the beginning of water formation and it forms the loss repre-

sented with segments b_5 and $b_5 \frac{1-k_5}{k_5}$.

Triangle BEF is the zone of passive water formation. Triangle BED is the zone of active water formation. The subsurface runoff appears in this type of banked-up slope runoff. It is formed when friable soil is flooded with ground water. It occurs in one part of the catchment area or in the whole catchment area when the water table which is very close to the surface can reach the daylight surface in case of rainfall intensity.

A new mathematical expression $b_5 \frac{1+k_5}{k_5}$ appears with this type of the runoff. It has not been used in the linear-correlation model before. Y-axis of the line of the subsurface banked-up slope runoff is zero at the point of the runoff beginning and $2b_5$ at point P . The point is measured from the line of the conditional separation of the processes happened on the surface of the catchment area Y_5 and $\frac{b_5(1-k_5)}{k_5}$ and the processes of the subsurface runoff.

The depth of potential natural water loss in such a banked-up slope runoff does not change its mathematical expression and is presented as:

$$E = b_5 + b_5 \frac{1-k_5}{k_5} = \frac{b_5}{k_5} \quad (11)$$

Infiltration capacity is calculated according to the following dependence:

$$P - \underbrace{(k_5 P + b_5)}_Y - \frac{b_5}{k_5} = U \quad , \text{ mm} \quad (12)$$

$$P(1-k_5) - b_5 - \frac{b_5}{k_5} = U \quad , \text{ mm} \quad (13)$$

$$P(1-k_5) - b_5 \frac{1+k_5}{k_5} = U \quad , \text{ mm} \quad (14)$$

$$P - Y_5 - \left(b_5 + b_5 \frac{1-k_5}{k_5} \right) = U \quad (15)$$

where U = infiltration, mm.

At first sight it may seem rather problematic to use only linear correlations in the model. The linearity both in the model itself and in the equation of dependence between the river runoff depth and precipitation depth can prevent scientists and experts from adoption the "runoff-precipitation" graph which is always straight. It is impossible to deny that the practice of hydrology has demonstrated curvilinear relation graphs along with rectilinear.

However, it is proved by the author of the article (Iofin 2013) that, while using the least rectangles method (Alekseev 1962), it is possible to obtain a linear functional relation employing the same data on the river runoff and precipitation that once formed a curvilinear relation. That is, having a curvilinear correlation between river runoff depth and precipitation depth, reducing them to equally provided values, the curvilinear relation can be approximated in the form of a straight line, which can show the functional relation (Alekseev 1962). Thus, the linear correlation equation is applicable for any form of the "runoff-precipitation" graph.

Discussion and results

The development of the theory and methodology of calculation of water balance elements in the form of the linear correlation model has resulted in the high accuracy of calculation of water balance and its elements (Iofin 2013). For ease of comparison, the accuracy of calculation of the water balance parameters with the help of the existing methods, calculations according to the linear-correlation model and water balance calculation accuracy are presented in the tables below.

The values represented in the tables prove that errors can vary greatly whatever the size of the catchment area. It should be noted that serious errors in calculating water-balance parameters with the help of equation (1) vary according to the type of soil. The latter can determine gravitational moisture seepage to the groundwater level. In the areas with well-permeable soils the calculation error of water balance parameters using equation (1) will be big. For poorly permeable soils, the error will be small. It is very important that such serious errors a priori will result in overestimation of investments in water engineering.

Table 1.
Accuracy of water balance parameters calculation.

№	River station	F – catchment area, km ²	Observation period, years	Observation values			Water balance according to $P=Y+E$, mm	Equation of regression $Y = f(P)$	Calculations according to linear-correlation equation			
				P, precipitation, mm	Y, runoff, mm	E, evaporation, mm			Y, mm	E, mm	U, mm	Balance, mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Podmoskovnaya Water Balance Station												
1	The Medvenka River – upstream of the mouth of the Zaksia River	21.5	63	674	193	340	533	$y=0.55x-166$	193	302	161	656
2	The Medvenka River – downstream of the mouth of the Zaksia River	40	63	674	212	340	552	$y=0.53x-146$	212	276	181	669
3	The Lyzlovo Ravine	1.76	63	674	73	340	413	$y=0.28x-107$	73	382	201	656
4	The Kulibin Ravine	0.44	50	573	42	340	382	$y=0.18x-61.8$	42	344	198	584
5	The Lesnoy Ravine	0.066	50	573	33	340	373	$y=0.29x-131$	33	454	85	572
Catchment Areas of Cuban Rivers												
6	The Chaparra-el Roble River	395	40	1063	188	606	794	$Y=0.411P-249$	188	524	270	982
7	The Gibarra-el Jobo I River	80.0	40	1127	292	658	950	$Y=0.623P-410$	292	628	179	1099
8	The Mayari-la Enajagua River	1060	40	1458	372	768	1140	$Y=0.539P-414$	372	786	317	1475
9	The S. de Tanamo-el Infierno River	325	40	1766	602	638	1240	$Y=0.534P-341$	602	561	534	1697
10	The Toa-el Torro II River	326	40	1688	700	594	1294	$Y=0.64P-380$	700	507	394	1601
11	The Toa-el Aguacato River	753	40	2439	1522	537	2059	$Y=0.811P-456$	1522	586	357	2465
12	The Jaguari-A Prieto River	182	40	2758	1924	600	2524	$Y=0.892P-536$	1924	548	238	2710
Italian Rivers												
13	The Mulargia River	64.8	42	542	161	300	461	$Y=0.66P-198$	161	300	82.8	544
14	The Candelaro River	85.4	42	611	74.2	394	468	$Y=0.63P-281$	74.2	394	145	613
15	The Celone River	2186	42	730	179	446	625	$Y=0.34P-134$	179	446	105	730
16	The Enza River	884	42	870	347	244	591	$Y=0.55P-134$	347	244	284	875
17	The Ofanto River	272	42	1000	350	418	768	$Y=0.60P-251$	350	418	234	1002
18	The Mannu River	488	35	502	122	172	294	$Y=0.37P-63.6$	122	172	207	501

Table 2.

Evaluation of accuracy of water balance calculation.

No	River station	P, precipitation, mm	Water balance according to $P=Y+E$, mm	Calculation error according to $P=Y+E$, %	Water balance according to linear-correlation model, P mm	Calculation error according to linear-correlation model, %
Podmoskovnaya Water Balance Station						
1	The Medvenka River – upstream of the mouth of the Zaksa River	674	533	21	656	3
2	The Medvenka River – downstream of the mouth of the Zaksa River	674	552	18	669	1
3	The Lyzlovo Ravine	674	413	39	656	3
4	The Kulibin Ravine	573	382	33	584	2
5	The Lesnoy Ravine	573	373	35	572	0
Catchment Areas of Cuban Rivers						
6	The Chaparra-el Roble River	1063	794	25	982	1
7	The Gibarra-el Jobo I River	1127	950	16	1099	2
8	The Mayari-la Emajagua River	1458	1140	22	1475	1
9	The S. de Tanamo-el Infierno River	1766	1240	30	1697	4
10	The Toa-el Torro II River	1688	1294	23	1601	5
11	The Toa-el Aguacato River	2439	2059	16	2465	1
12	The Jaguani-A. Prieto River	2758	2524	8	2710	2
Italian Rivers						
13	The Mulargia River	542	461	15	544	0
14	The Candelaro River	611	468	23	613	0
15	The Celone River	730	625	14	730	0
16	The Enza River	870	591	32	875	0
17	The Ofanto River	1000	768	23	1002	0
18	The Mannu River	502	294	41	501	0

All the water balance parameters are calculated analytically with the help of the linear-correlation model. At the existing level of knowledge all the parameters cannot be calculated with the same accuracy with the help of other methods.

Conclusion

In this article, a new robust method of calculating water balance and water balance parameters has been developed. The solution proposed in this article is based on the linear correlation model, the genetic theory of runoff and the method of the least rectangles. The suggested approach is useful both for the theory of water balance and the accuracy of calculating water balance parameters. The presented approach has many advantages: the number of calculated water balance parameters and the accuracy of their calculation. The model proposed in this article can be recommended for practical use.

REFERENCES:

1. Alekseev G.A., Velikanov M.A. (1962) Search for forms of relations between random variables quantile method. Errors of measurement and empirical relationships. Gidrometeoizdat, Leningrad
2. Andreyanov V.G. (1960) Applying the equations of water balance and heat balance to the investigation and calculation of the annual runoff mode. Proceedings of GGI. Leningrad 73:3-54
3. Babkin V.I., Vuglinsky V.S. (1982) Water balance of river basins. Gidrometeoizdat, Leningrad
4. Befany A.N. (1989) Issues of regional hydrology. Peakflow. UMKVO, Kiev
5. Budyko M.I. (1956) Evaporation in vivo. Gidrometeoizdat, Leningrad
6. Bulavko A.G. (1971) Water balance of river basins. Gidrometeoizdat, Leningrad
7. Iofin Z.K. (2013) Theoretical underpinning of linear-correlation model of water balance. Saint Petersburg, The Scientific Journal "Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo i Rechnogo Flota Imeni Admirala S.O. Makarova" (Bulletin of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping) 3:18-27
8. Koronkevich N.I. (1990) Water balance of the Russian Plain and its anthropogenic changes. Science, Moscow
9. Mezentsev V.S., Karnatsevich I.V. (1969) Moistening of the West Siberian Plain. Gidrometeoizdat, Leningrad
10. Oldekop E.M. (1911) Evaporation from the surface of river basins. Yuriev
11. Oppokov E.V. (1935) Precipitation, runoff and evaporation in the Dnieper basin above Kiev (according to the latest data). Research of rivers of the USSR 7:38-54
12. Pierre Perrault (1674). De l'origine des fontaines.
13. Velikanov M.A. (1940) Water balance of the land. Gidrometeoizdat, Moscow
14. Voeikov A.I. (1884) Climates of the world, Russia in particular. Selected works. Moscow-Leningrad Vol.1:163-750

PHYSICAL SCIENCES

THERMODYNAMICS OF NUCLEIC ACIDS AS SOURCE OF LIFE

Gladyshev G.

*Doctor of chemical sciences, professor of physical chemistry
Principal scientist, N. N. Semenov Institute of Chemical Physics Russian Academy of Sciences; Department
of design, Russian Academy of Arts
Moscow*

ТЕРМОДИНАМИКА НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ КАК ИСТОЧНИКА ЖИЗНИ

Гладышев Г.П.

*Доктор химических наук, профессор физической химии
Главный научный сотрудник
Институт химической физики им. Н. Н. Семенова
Российская Академия наук;
Отделение дизайна, Российская Академия Художеств
Москва*

Abstract

Considerations are presented aimed at finding common thermodynamic causes of the appearance of the simplest nucleic acids under conditions acceptable for their existence and functioning. Life, as we imagine it, begins with the actual life of nucleic acids, which appears when the thermodynamic parameters of the environment fluctuate periodically in a narrow range of their changes. The postulate "Life strives for maximum hierarchy through cyclic transformations" was first formulated.

Аннотация

Представлены соображения направленные на поиск общих термодинамических причин появления простейших нуклеиновых кислот в условиях приемлемых для их существования и функционирования. Жизнь, как мы ее представляем, начинается с собственно самой жизни нуклеиновых кислот, которая появляется при периодическом колебании термодинамических параметров окружающей среды в узком диапазоне их изменения. Впервые сформулирован постулат «Жизнь стремится к максимальной иерархичности путем циклических превращений».

Keywords: nucleic acids, hierarchical thermodynamics, the principle of substance stability, the origin of life, aging, Darwinism, epigenetics.

Ключевые слова: нуклеиновые кислоты, иерархическая термодинамика, принцип стабильности вещества, возникновение жизни, старение, дарвинизм, эпигенетика.

Epigraphs

"The simplicity - the only ground on which it is possible to erect a building of generalizations"

Henri Poincare

"One of the principal objects of theoretical research in any department of knowledge is to find the point of view from which the subject appears in its greatest simplicity."

J. Willard Gibbs

Целью настоящей статьи является представление простой модели зарождения биологической жизни начинающейся с направляемой иерархической термодинамикой молекулярно - супрамолекулярной жизни нуклеиновых кислот.

Появление биологической материи связано с возникновением в водной среде, содержащей первичные ингредиенты жизни, воспроизводящихся супрамолекулярных структур простейших нуклеиновых кислот в результате периодической кристаллизации и рекристаллизации. Жизнь, как мы ее представляем, начинается с собственно самой жизни нуклеиновых кислот, которая появляется

при периодическом колебании термодинамических параметров окружающей среды в узком диапазоне их изменения. Появление и развитие жизни нуклеиновых кислот сопровождается сопутствующими зарождающимися процессами синтеза белка, углеводов и других многочисленных молекул метаболитов, которые участвуют в организации и развитии супрамолекулярных структур и в дальнейшем структур высших иерархий. Всеми процессами развития жизни управляет, созданная на основе теории Дж. У. Гиббса [1] иерархическая термодинамика [2-6], направленное действие которой определяется принципом стабильности вещества [3-6].

Первичными ингредиентами жизни являются органические и неорганические вещества, появляющиеся на небесных телах и присутствующие в зонах ее возникновения. Такими веществами являются в основном соединения содержащие водород (H), углерод (C), азот (N), кислород (O), фосфор (P) и серу (S). Простейшие нуклеиновые кислоты трансформируются и функционируют в результате самопроизвольных превращений направляемых вторым началом термодинамики и периодическими

несамопроизвольными адаптивными процессами, инициируемыми окружающей средой на продолжительных этапах эволюции [5, 7]. Упомянутые несамопроизвольные процессы возникают под действием электромагнитных излучений, механических и других воздействий. Все процессы,

$$dG^* = \sum_i dG_i^* = -\sum_i S_i dT_i + \sum_i V_i dp_i - \sum_i \sum_{k_i} x_{k_i} dX_{k_i} + \sum_i \sum_{k_i} \mu_{k_i} dm_{k_i} \quad (3)$$

Здесь: T – температура; S – энтропия; V – объем; p – давление; X – любая обобщенная сила, за исключением давления; x – любая обобщенная координата, за исключением объема; μ – эволюционный (в частном случае, – химический) потенциал; m – масса k -го вещества; работа, совершенная системой, отрицательна. Индекс i относится к частной эволюции, а k – к компоненту i – ой эволюции. Верхний индекс * означает, что рассматривается поведение сложной термодинамической системы.

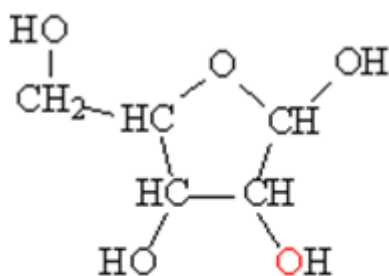
При существовании всех условий необходимых для возникновения нуклеиновых кислот сама иерархическая термодинамика, направляемая действием принципа стабильности вещества, «создаст» именно эти первичные «живые» молекулярно - супрамолекулярные структуры, которые будут функционировать в приемлемых условиях

приводящие к зарождению жизни нуклеиновых кислот, учитывает расширенное обобщенное уравнение Гиббса – расширенное обобщенное уравнение первого и второго начал термодинамики [3,4]:

окружающей среды. Другими словами, в приемлемых условиях для появления жизни, химический состав и строение нуклеиновых кислот должны быть именно такими, какими их требует иерархическая термодинамика. Это является неукоснительным требованием иерархической термодинамики, которая постоянно ищет максимально стабильные структуры на всех иерархических уровнях [8]. Природа систематически «подстраивается» под действие термодинамики.

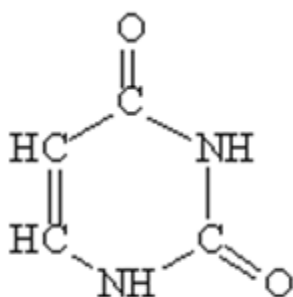
Иерархическая термодинамика, направляемая принципом стабильности вещества, первоначально отдает предпочтение появлению рибонуклеиновых кислот. Это утверждение подтверждается сравнением стандартной свободной энергии Гиббса (или просто, – свободной энергии) образования различающихся фрагментов РНК и ДНК в физиологических условиях [9]:

Фрагменты РНК



Рибоза

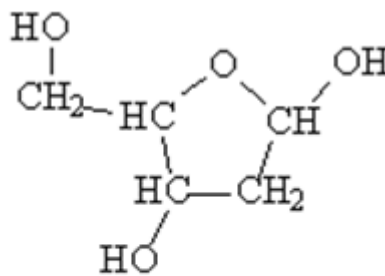
$$\Delta fG^\circ \text{ (kcal/mole)} = -78.91$$



Урацил

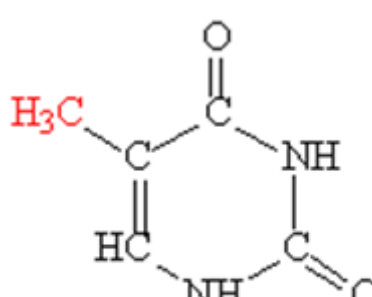
$$\Delta fG^\circ \text{ (kcal/mole)} = -29.00$$

Фрагменты ДНК



Дезоксирибоза

$$\Delta fG^\circ \text{ (kcal/mole)} = -38.79$$

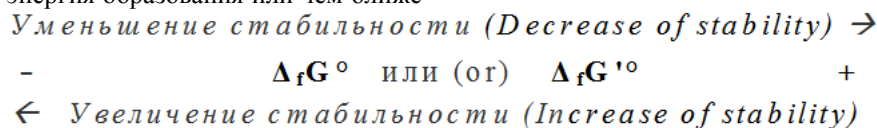


Тимин

$$\Delta fG^\circ \text{ (kcal/mole)} = -10.08$$

Сравнение относительной стабильности однотипных (близких по составу) веществ или их фрагментов делается на основании сопоставления свободной энергии их образования: «чем отрицательнее свободная энергия образования или чем ближе

эта величина к отрицательному значению (в случае положительной ее величины), тем сравнительно стабильнее соединение». Сделанное утверждение иллюстрирует схема:



Из представленного сопоставления стандартной свободной энергии образования фрагментов нуклеиновых кислот следует, что фрагменты РНК - рибоза и урацил химически более стабильны фрагментов ДНК - дезоксирибозы и тимина. Согласно принципу стабильности вещества это означает, что РНК образует менее стабильные супрамолекулярные структуры по сравнению с ДНК. Действительно, на практике мы наблюдаем соответствующие эффекты: менее химически стабильные цепи ДНК согласно принципу стабильности вещества

имеют предпочтение к комплементарному спариванию по сравнению с цепями РНК, которые преимущественно образуют супрамолекулярные структуры с молекулами окружающей среды.

Таким образом, принцип стабильности вещества способствует эволюционному отбору ДНК в живых системах предпочтительно в форме двойных спиралей, а РНК в форме конформаций с участием одиночных цепей [6]. Рис 1. Является иллюстрацией к сделанному заключению.

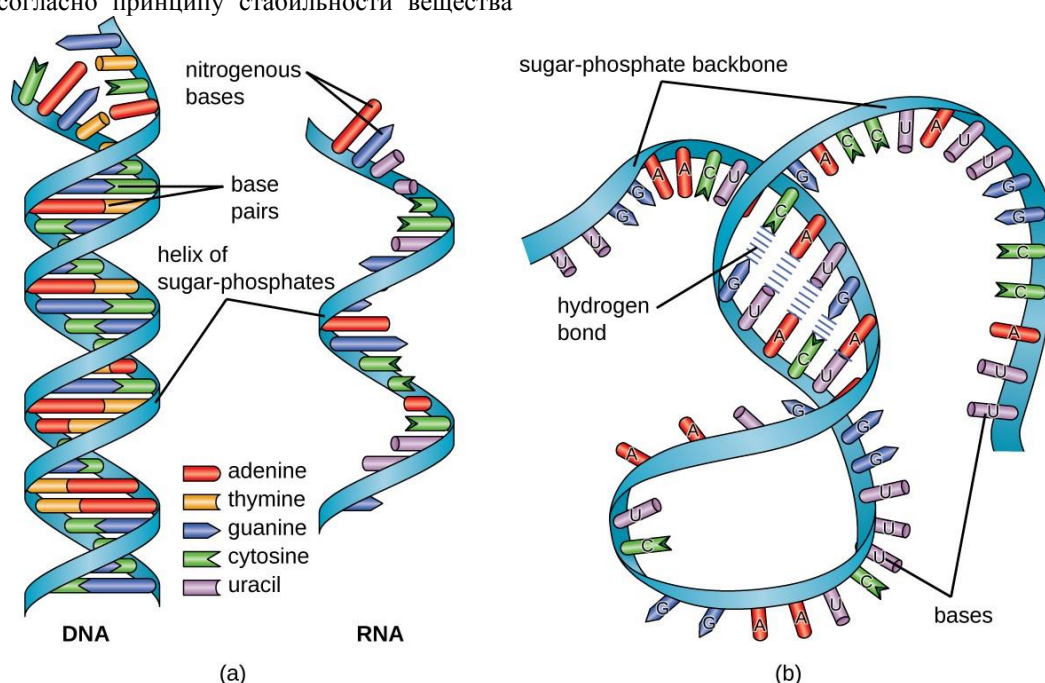


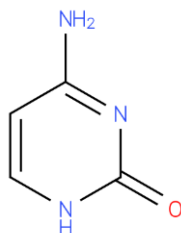
Рис. 1. Иллюстрация принципа стабильности вещества. Представлены типичные структуры ДНК (а) и РНК (б). РНК образует менее регулярные упорядоченные структуры, содержащие много одноцепочечных сегментов полимерных цепей.

Целесообразно заметить, что при эпигенетических превращениях принцип стабильности вещества также эффективно работает. Например, в эволюции и при старении живых существ химически нестабильный остаток цитозина превращается в

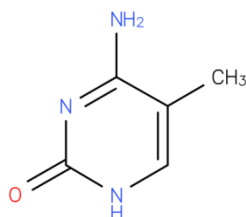
еще более химически нестабильный остаток 5-метилцитозина, который участвует в образовании сравнительно более стабильной структуры двойной спирали ДНК [9]:

Cytosine (Цитозин)C₄H₅N₃O

111.1 Daltons

 $\Delta_f G^\circ = 19.91 \text{ kcal/mol}$ [Latendresse13]**5-methylcytosine (5-метилцитозин)**C₅H₇N₃O

125.13 Daltons

 $\Delta_f G^\circ = 38.82 \text{ kcal/mol}$ [Latendresse13]

Действие принципа стабильности вещества применительно к жирам, маслам, жирным кислотам, белкам, нуклеиновым кислотам и другим метаболитам также продемонстрировано в работах [10, 11].

Описанная выше «кристаллизация и рекристаллизация» (локальная ренатурация и денатурация - плавление) происходят на всех уровнях и подуровнях высших иерархических структур. Каскад последовательных трансформируемых иерархических превращений, соответствующий принципу стабильности вещества (принципу обратных связей), направляется в сторону завершения онтогенеза и филогенеза. На всех иерархических уровнях образуются именно те структуры, которые требуют термодинамика индивидуальных и высших смежных иерархий, которые играют роль окружающей среды.

С позиции общих физических представлений о нашем мире, по-видимому, можно характеризовать эволюционную направленность развития жизни следующим образом: **«Жизнь стремится к максимальной иерархичности путем циклических превращений»**. Формулировка этого постулата должна учитывать все иерархии, включая физические поля, обрамляющие живые объекты и определяющие их дизайн. Можно полагать, что взаимодействие физических полей – высших иерархий проявляется в виде сознания контролируемого мозгом. Простота представленного постулата созвучна простоте представлений Дарвинизма о **«вариации и селекции»** [12, 13], в основе которого лежат законы иерархической термодинамики. Жизнь нуклеиновых кислот, биологическая жизнь, как и жизнь вселенной, существуют благодаря общим законам

природы, привнесенным извне [3, с. 7, англ.; с. 9, русский]. Как возникли эти законы? Однозначного ответа нет. Можно полагать, что это сделала «Природа – творец»...

Из представленного рассмотрения следует, что для создания жизни в лабораторных условиях необходимо использовать водную систему, содержащую все необходимые химические ингредиенты, подвергающиеся периодическим воздействием окружающей среды для появления функционирующих нуклеиновых кислот. При этом необходимо найти пути ускорения развития процессов кристаллизации и рекристаллизации структур, предшествующих появлению молекул простейших нуклеиновых кислот. Как это сделать? По-видимому, целесообразно увеличить скорость (частоту) периодического изменения внешних физических воздействий на исходную систему. Во всяком случае нужны новые подходы к экспериментальным исследованиям.

Заключение

Биологическая жизнь – повторяющийся циклический процесс обмена - круговорота веществ управляемый иерархической термодинамикой, учитывающей самопроизвольные превращения, протекающие на всех иерархических уровнях внутри живых объектов на фоне несамопроизвольных превращений, инициируемых окружающей средой также внутри этих объектов.

Биологическая жизнь, как мы ее знаем, начинается с жизни простейших нуклеиновых кислот в условиях термодинамически приемлемых для их существования и функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gibbs J.W. The Collected Works of J. Willard Gibbs Thermodynamics — New York: Longmans, Green and Co., 1928. — Vol. 1, P. 55-349. In Russian: Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая механика. — М.: Наука, 1982.
2. Gladyshev Georgi P., On the Thermodynamics of Biological Evolution, Journal of Theoretical Biology, Vol. 75, Issue 4, Dec 21, 1978, pp. 425-441 (Preprint, Chernogolovka, Institute of Chem. Phys. Academy of Science of USSR, May, 1977, p. 46, на английском и русском).
3. Gladyshev G.P., Thermodynamics Theory of the Evolution of Living Beings, Commack, New York: Nova Science Publishers, Inc., 1997. 142 P. In Russian: Гладышев Г.П., Термодинамическая теория эволюции живых существ, М., Луч, 1996.-86с. ISBN 5-7005-0545-2 (пер.) <http://creatacad.org/?id=58&lng=eng>
<http://www.statemaster.com/encyclopedia/History-of-thermodynamics>
4. Гладышев Г.П. Супрамолекулярная термодинамика – Ключ к осознанию явления жизни. *Что такое жизнь с точки зрения физико-химика*. Издание второе – М. – Ижевск. ISBN: 59397-21982. 2003.
5. Gladyshev G.P. J Thermodyn Catal , 2017, 8: 2 DOI: 10.4172 / 2157-7544.100018, Life - A Complex Spontaneous Process Takes Place against the Background of Non-Spontaneous Processes Initiated by the Environment.
<https://www.omicsonline.org/open-access/life--a-complex-spontaneous-process-takes-place-against-the-background-of-nonspontaneous-processes-initiated-by-the-environment-2157-7544-1000188.php?aid=91824>
6. Gladyshev G.P., Thermodynamics of the origin of life, evolution, and aging, International Journal of Natural Science and Reviews. 2017. pp. 2-7. <http://escipub.com/ijnsr-2018-01-1001/>
7. Gladyshev G.P., On General Physical Principles of Biological Evolution, International Journal of Research Studies in Biosciences. 2017, Volume 5, Issue 3, Page No: 5-10. <https://www.arcjournals.org/pdfs/ijrsb/v5-i3/2.pdf> и https://www.researchgate.net/publication/314187646_On_General_Physical_Principles_of_Biological_Evolution
8. Gladyshev G.P. Nature Tends to Maximum Stability of Objects in all Matter Hierarchies. Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR) Vol-3, ISSUE-3, 2017 <https://www.onlinejournal.in/IJIRV3I3/327.pdf>
9. MetaCyc <https://metacyc.org/> .
10. Gladyshev G.P. Hierarchical thermodynamics explains the origin of life and its evolution, Norwegian Journal of development of the International Science, No 17/2018, pp. 27-35. ISSN 3453-9875
<http://www.njd-iscience.com/archive/>
http://www.norwegian-journal.com/wp-content/uploads/2018/05/NJD_17_3.pdf .
11. Gladyshev G.P. On the thermodynamic direction of the origin of life and its evolution: A new confirmation of the theory, Journal of Norwegian development of the International Science, №26/2019, Vol. 2, pp. 31-36. ISSN 3453-9875 <http://www.njd-iscience.com/archive/>
12. Gladyshev G.P, Hierarchical thermodynamics presents model of evolution of live world. Norwegian Journal of development of the International Science, №28/2019, Vol. 2, pp. 50-57. ISSN 3453-9875
http://www.njd-iscience.com/wp-content/uploads/2019/03/NJD_28_2.pdf
13. Darwin Ch. On the origin of species by means of natural selection. — London: Murray, 1859. — ISBN 8420656070.

**TECHNOLOGY OF OBTAINING AND AREA OF APPLICATION OF ELECTROTECHNICAL
COMPOSITIONAL MATERIALS ON A CARBON-GRAPHITE BASIS**

Gulevsky V.,

Ph.D. assistant professor, Volgograd State Technical University

Shtremmel S.,

Master, Volgograd State Technical University

Kidalov N.

Professor, Doctor of Technical Sciences, Volgograd State Technical University

Gurbich V.,

Master, Volgograd State Technical University

Dudin N.

Master, Volgograd State Technical University

Velikanov M.,

Master, Volgograd State Technical University

Ogorodnikov S.

Master, Volgograd State Technical University

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УГЛЕГРАФИТОВОЙ ОСНОВЕ**Гулевский В.А.,***Доцент к.т.н., Волгоградский государственный технический университет,***Штреммель С.А.,***Магистр, Волгоградский государственный технический университет***Кидалов Н.А.,***Профессор д.т.н., Волгоградский государственный технический университет***Гурбич В.А.,***Магистр, Волгоградский государственный технический университет***Дудин Н.Р.,***Магистр, Волгоградский государственный технический университет***Великанов М.А.,***Магистр, Волгоградский государственный технический университет***Огородников С.С.***Магистр, Волгоградский государственный технический университет***Abstract**

The article discusses the technology of producing an electrical engineering composite of the carbon-graphite-copper alloy type, using the gas-free method of impregnating the porous carbon-graphite frame with a matrix copper alloy, and also presents the results of tests, evaluating the properties and the field of application of the composite materials

Аннотация

В статье рассмотрена технология получения композита электротехнического назначения типа углеграфит - сплав меди, по безгазостатному способу пропитки пористого углеграфитового каркаса матричным медным сплавом, а также приводятся результаты испытаний, оценки свойств и области применения полученных композиционных материалов

Keywords: impregnation, copper, carbon-graphite, composite.**Ключевые слова:** пропитка, медь, углеграфит, композиционные материалы.**Введение**

Одним из чрезвычайно перспективных направлений в области создания высокоэффективных композитов функционального назначения является разработка композиционных материалов (КМ) на основе пористого углеграфитового каркаса, пропитанного сплавами металлов, обладающих повышенной химической стойкостью и хорошими антифрикционными свойствами. В таких КМ благоприятно сочетаются свойства каркаса, из углеграфита (повышенные антифрикционные характеристики, устойчивость при высоких температурах, химическая стойкость и т.д.) со свойствами металла (высокая прочность, хорошая электро- и теплопроводность) [1,2].

Использование в качестве матричного расплава - сплава меди, а в качестве пористого тела углеграфита позволяет получать композиционные материалы, широко применяемые в машиностроении для изготовления токосъемников, вставок пантографов, электрических щеток, уплотнителей, вкладышей подшипников скольжения, область использования которых очень разнообразна и включает не только выше перечисленные изделия, но и детали аэрокосмического назначения [3].

При осуществлении способа пропитки ёмкость изготовленную из стали 45 (рисунок 1) выполненную из двух камер 1 и 2 нагрели до температуры 400⁰С и заполнили камеру 2 расплавом свинца 10, установили металлическую мембрану 4 между ка-

мер и скрутили их так, чтобы мембрана герметизировала соединение, затем в камере 1 разместили пористую заготовку 5 и приспособление 7 предотвращающее всплытие пористой заготовки 5 из углеграфита, закрыли камеру 1 крышкой 11 нагрели до температуры 600⁰С через стояк залили в камеру 1 расплав медно-фосфористого сплава 6, полностью покрывая им пористую заготовку. После того как матричный медно-фосфористый расплав залили в камеру для пропитки оставляя воздушный зазор 10-12мм, ёмкость закрыли крышкой, установили газотводную трубку 13 соединили шлангом с вакуумным насосом и достигли давления разряжения 0,01 МПа с одновременным воздействием вибрацией (на вибростоле) с выдержкой 15 мин при 800⁰С. Затем доливали расплав матричного сплава с температурой 950⁰С до верхнего края стояка с появлением на этом обрезе выпуклого мениска матричного расплава на основе меди, герметично притирали предварительно нагретую до 950⁰С пробку. После этого нагревали ёмкость на 100⁰С выше температуры ликвидус медно-фосфористого расплава с изотермической выдержкой 20 мин. при достижении указанной температуры и расчетного давления. За счёт разницы коэффициентов теплового расширения ёмкости и медно-фосфористого сплава 6, расплава свинца 10 внутри камеры 2, и расплава медно-фосфористого сплава 6, создаётся необходимое давление пропитки, одновременно с увеличением объема камеры 1. Затем удалили пробку 9, слили третью часть расплава 6, отвернули

крышку 11, извлекли полученный КМ и произвели его охлаждение с кристаллизацией расплава на медной основе в порах.

Таким образом, пропитка имеет две стадии, на первой происходит частичное заполнение открытых пор пористой заготовки 5 из углеграфита за счёт положительной разницы коэффициентов теплового расширения сплава на медной основе 6 по

отношению к материалу камеры 1, а во второй создаётся необходимое давление для пропитки за счёт теплового расширения расплава свинца 10 в камере 2, которое реализуется через изгиб мембраны, так как коэффициент теплового расширения свинца в 2,5 раза больше чем у материала ёмкости (Сталь 45).

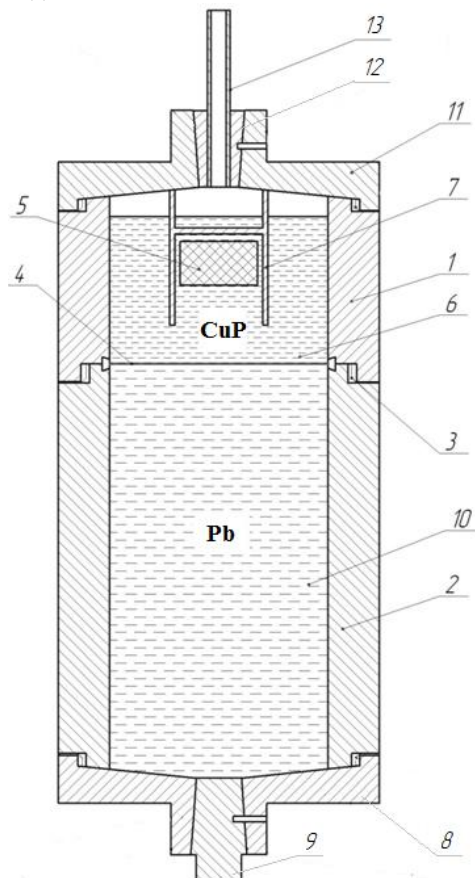


Рисунок 1- Емкость для изготовления композиционного материала с газоотводной трубкой
1 – верхняя камера для пропитки, 2 – камера для создания давления, 3 – резьбовое соединение,
4 – металлическая мембрана, 5 – углеграфитовая заготовка, 6 – матричный медно-фосфористый сплав,
7 – противовсплывное приспособление, 8 – нижняя крышка, 9 – нижняя пробка, 10 – расплав свинца,
11– крышка, 12 – верхняя пробка, 13 – газоотводящая трубка

Таблица 1

Коэффициент теплового расширения металлов ($\alpha \cdot 10^{-6} \text{C}^{-1}$) [3,4,6]

Металлы	Температура, C°											
	5	10	30	50	100	200	300	400	500	600	800	1000
Сu	0,009	0,03	1,04	3,80	10,5	15,2	16,7	17,3	17,9	18,6	20,1	21,8
Сталь 45	-	-	-	-	12,4	13	13,4	13,8	14,2	14,6	12	13,8
Al	0,11	0,5	1,04	3,62	12,3	20,2	23,3	24,5	26,2	28,1	32,6	-
Pb	0,20	3,02	17	21,8	25,4	27,3	28,5	29,6	31,7	-	-	-

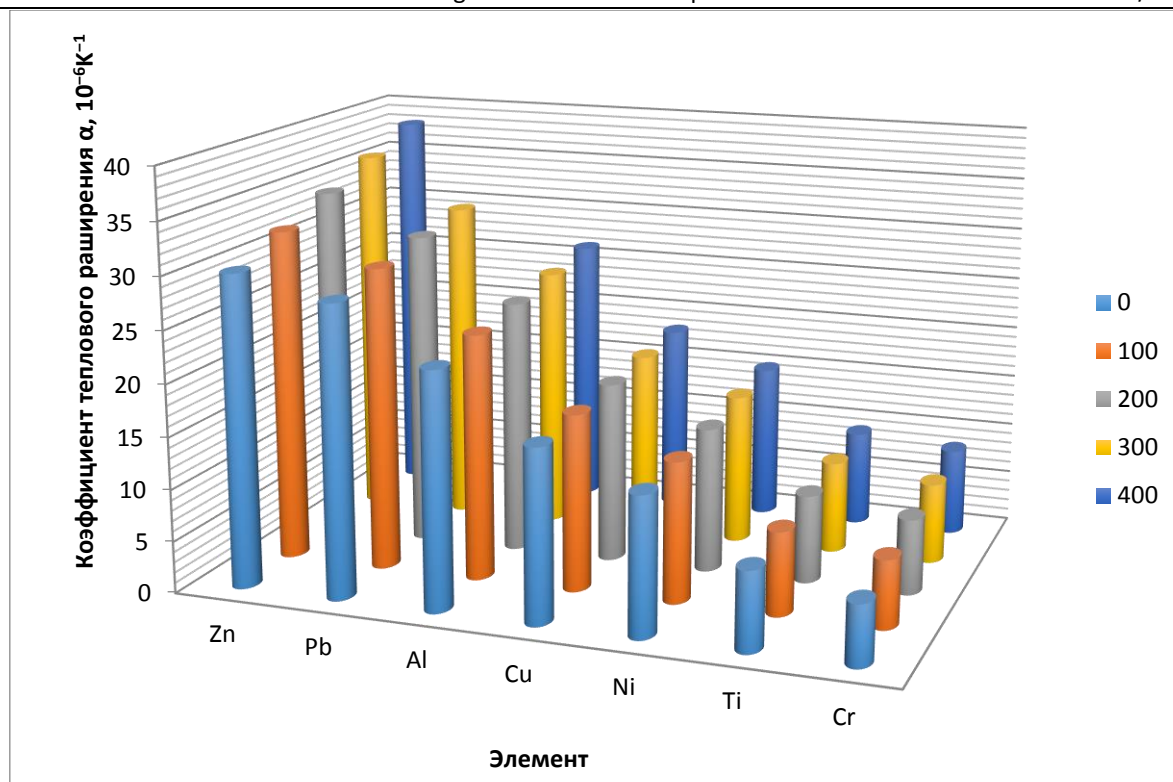


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплового расширения от температуры нагрева[6]

Полученный КМ испытывался на прочность при сжатии, степень заполнения открытых пор, структура КМ оценивалась по результатам металлографических исследований.

Таблица 2

Измеряемый параметр	Результаты исследований		SIGRI [4,5,7]	
	"АГ – 1500", Россия [4,5,7]			
	углеграфит	углеграфит + Cu*	углеграфит	углеграфит + Cu
Плотность, кг/м³	1,78·10³	2,15·10³	2,10·10³	2,68·10³
Прочность, МПа при сжатии при изгибе	80-100	150	30-90	115
	35-37	60-70	8-10	-
Твердость, НВ	104	200	110	220
Общая пористость, %	20	6	9-12	3-5
Эффективный радиус пор	0,84	0,84	1,73	1,73

* - 40% заполнения пор

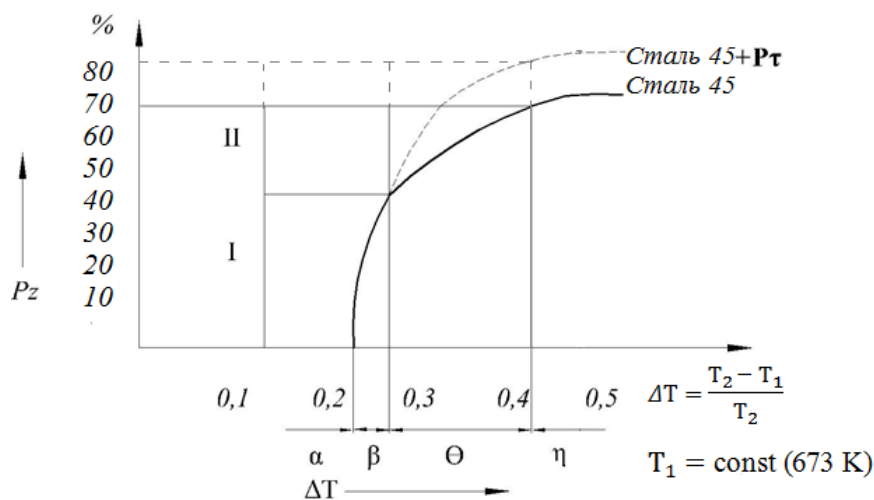


Рисунок 3

Зависимость степени заполнения пор углеграфита медным сплавом от величины его перегрева.

На участке α заложен температурный интервал, при котором перегрев сплава соответствует давлению, не превышающему противодействие в порах углеграфитового каркаса, поэтому процесс пропитки не осуществляется. На участке β -I происходит эффективное заполнение пор углеграфита пропитывающим сплавом, вследствие создания необходимых условий для пропитки, т.е. соответствует давлению, превышающему $\Delta P_{\text{у}}$ - капиллярное давление. Однако разница величин давлений позволяет заполнить поры крупнее 30 мкм, поры в диапазоне 30-60 мкм составляют в общем объеме открытой пористости около 48 %, этим и можно объяснить резкое увеличение степени заполнения (Пз) углеграфита сплавом на участке β -I, хотя величины давления все же недостаточно. Для комплексного заполнения углеграфита увеличивали давление. В результате, на участке Θ -II осуществляется заполнение типоразмеров пор 0-30 мкм, 60-150 мкм, которые составляют в общем объеме открытой пористости 15-20 % и 25-30 % соответственно, одновременно с этим создается давление $P_{\text{т}}$, за счет действия "мембраны-поршня" на медный расплав, в роли которого выступает изгиб металлической мембраны, под действием теплового расширения свинца в камере для создания давления, что приводит к увеличению степени пропитки углеграфитового каркаса на 3-10 % и оптимальному заполнению открытой пористости скелетных КМ с требуемыми физико-механическими свойствами, при этом, не уступает по этому показателю основным зарубежным аналогам. На участке η отмечено заметное снижение интенсивности заполнения от соответствующего увеличения давления пропитки, которое зависит, кроме того, от типоразмеров оставшихся незаполненных пор, их распределения, разветвленности, шероховатости поверхности и т.п.

Получение металлографитовых композитов широко апробировано на троллейбусных вставках и проведены натурные испытания в сложных климатических условиях при различных температурах нагрева, однако в настоящее время наметилась тенденция снижения использования данного вида транспорта и, постепенно происходит замена троллейбусов на электробусы. В первую очередь, это связано с возможностью у последних мобильности при изменении маршрутов, связанных с расширением городов и образованием новых районов в городской черте. Поэтому дополнительное внимание было направлено на КМ из углеграфита, в номенклатуру которых также входят углеродные щетки [8].

Щетка изнашивается под влиянием комбинации механического износа в результате трения и

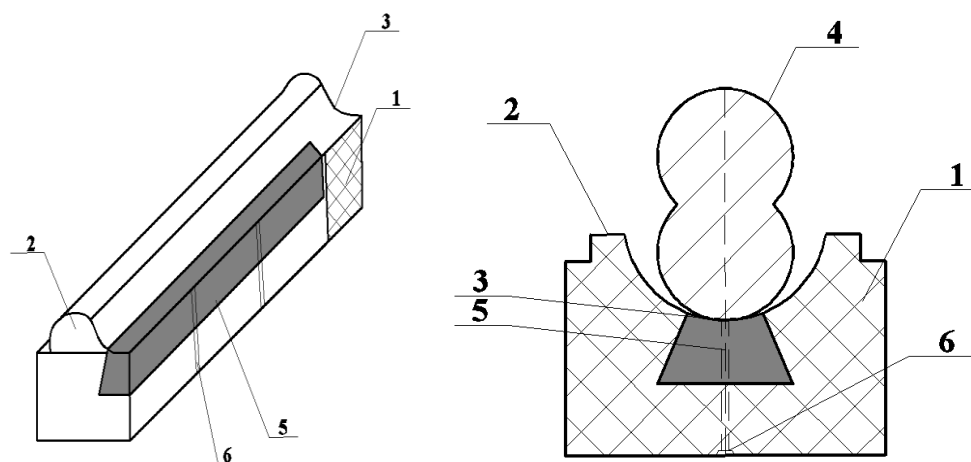
электрического износа, в результате чрезмерного сопротивления на контактной поверхности (искрение, дугообразование). Для количественной оценки следует, что трение является главной причиной механического износа щетки, а падение напряжения является основным показателем электрического износа. В ходе работы, углеродные щетки изнашиваются как механически так электрически одновременно, общий износ является суммированием механического и электрического износа. Многие из ранее опубликованных в литературе указывают, что этот идеальный диапазон давления составляет от 0,01 до 0,02 МПа, площадь щетки (90 – 135 г/см²) [9].

Существует несколько видов щеток таких как: металлографитные, электрографитные, графитные, связанные смолой, угольно-графитные. Металлографитные щетки используют в более ответственных узлах и механизмах. Целесообразно использовать щетки, изготовленные из композиционного материала углеграфит-сплав меди, исходя из приведенных выше характеристик КМ.

В токосъемниках троллейбусов используются контактные вставки, отличающиеся по конструкции: форме профиля торца, конфигурации поперечного сечения, по длине и форме в плане, а также по материалу: угольно-графитовые, металлические и металлокерамические. Спрос того или иного типа контактных вставок определяется не только техническими характеристиками: износостойкостью, механической прочностью, электропроводностью, интенсивностью искрения при обеспечении долговечности контактных проводов троллейбусных линий, но и экономической составляющей, которая определяет стоимость – один из главных показателей для потребителя. Вместе с тем, несмотря на перечисленные конструктивные отличия, а также различия в использовании материалов при изготовлении контактных вставок, можно выделить общий конструктивный признак вставок: их однослойность [10]. Известен, например, способ совершенствования контактной вставки (Патент на полезную модель No 120051 (РФ)). Контактная вставка токосъемников троллейбусов / Гулевский В.А., Антипов В.И., Колмаков А.Г. – Оpubл. 10.09.12 – БИ No 25, в котором в рабочей части вставки размещен токопроводящий медный элемент, данная конструкция обеспечивает снижение электрического сопротивления контактного слоя вставки в 2-3 раза при сохранении износостойкости и высоких смазочных свойств, а также долговечности проводов контактных линий. Конструкция данной вставки изображена на рисунках 4,5.



Рисунок 4 - Троллейбусная контактная вставка



1 – углеграфитовая пластина из углеграфитового КМ, 2 – раструбы, 3 – рабочая части вставки (желоб), 4 – контактный провод, 5 – токопроводящий элемент, 6 – медный штифт

Рисунок 5 – Конструкция троллейбусной контактной вставки.

На рисунке 6, а показана микроструктура пропитанного медным сплавом углеграфитового композита.

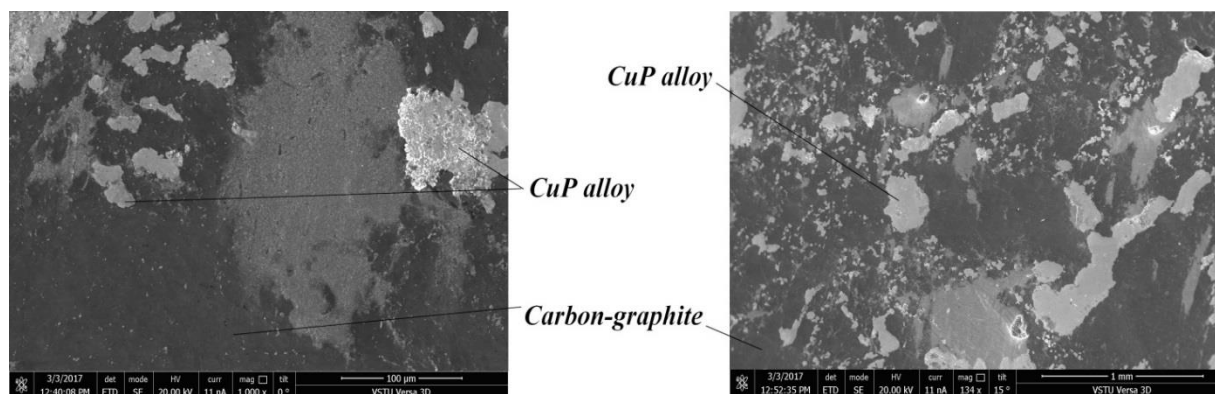


Рисунок 6– Микроструктура электротехнического композита типа углеграфит- медно-фосфористый сплав, СЭМ SMAQuanta 3D FEG.

Нами проводится усовершенствование конструкции электрических щеток и применение композиционного материала углеграфит-медный сплав позволит увеличить прочность, и долговечность работы данных щеток. Кроме того, улучшить электрический контакт, связанный с уменьшением электрического сопротивления щетки.

Согласно экспертным оценкам композиционные материалы системы «пористый углеграфит – сплавы меди» весьма перспективны при использовании их в качестве вкладышей радиальных и упорных подшипников, направляющих втулок, пластин, поршневых колец, щеток токосъемных элементов, элементов торцевых уплотнений в изделиях маши-

ностроения, приборостроения, а также в технологическом оборудовании для химической и нефтеперерабатывающей промышленности [8]

Автор работ [11,12] утверждает, что между углеродом и пропитывающим медным сплавом химическая взаимосвязь отсутствует, а существует только механическая связь между скелетами, однако результаты проведенных нами металлографических исследований композита углеграфит-медно-фосфористый сплав показывают иное. На рисунке 6 показана микроструктура композита углеграфит-медно-фосфористый сплав.

Применение метода безгазостатной пропитки позволяет значительно снизить себестоимость композиционных материалов за счет использования оборудования из обычных конструкционных материалов. По причине доступности оснастки, можно изготовить большое количество емкостей для пропитки с целью организации серийного или массового производства композитов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Костиков В.И., Варенков А.Н. Взаимодействие металлических расплавов с углеродными материалами. М.: Металлургия, 1981. 184 с.
2. Гулевский В. А., Мухин Ю. А., Загребин А. Н., Пожарский А. В. Влияние легирующих элементов на смачивание углеграфита медными сплавами // Заготовительные производства в машиностроении, 2009. – №6. – С. 45-48.
3. Пат. 2571295 РФ, МПК В22F3/26. Способ изготовления композиционных материалов / В.А. Гулевский, П.С. Головинов, Н.А. Кидалов, В.И. Антипов, А.Г. Колмаков, Л.В. Виноградов; ВолгГТУ. – 2015.
4. П. м. 135555 РФ, МПК В22F3/26, C22C47/12. Устройство для изготовления композиционного материала / В.А. Гулевский, С.Э. Власов, Н.А. Кидалов, В.И. Антипов, А.Г. Колмаков, Л.В. Виноградов; ВолгГТУ. – 2013.
5. Получение композитов типа углеграфит-сплав алюминия / Гулевский В.А., Головинов П.С., Черничкин Е.Е., Кидалов Н.А., Антипов В.И., Колмаков А.Г., Виноградов Л.В. / Наука и мир. – 2014. - № 8 (18). – С. 69-74.
6. Новикова, С.И. Тепловое расширение твердых тел / С.И. Новикова. - Москва: Наука, 1974. - 289 с.
7. Матричный сплав для пропитки углеграфитового каркаса / В.А. Гулевский [и др.] // Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении. – 2009. - № 11 (59). – С. 81-84.
8. Зубченко А. С., Колосков М. М., Каширский Ю. В. и др. Марочник сталей и сплавов. — Машиностроение, 2003. — С. 585. — 784 с.
9. Jeff D. Koenitzer, P.E. Helwig products, inc Milwaukee, Wisconsin, USA "The Effect of Spring Pressure on Carbon Brush Wear Rate" 2008
10. Исследование характера взаимодействия компонентов в композиционном материале из пористого углеграфитового каркаса, пропитанного силумином / В. А. Гулевский [и др.] // Перспективные материалы. - 2016. – №2
11. Electron percolation in copper infiltrated carbon / S. Krcho // Journal of Electrical Engineering. – 2015. - № 6. – 339-343с.
12. Фиалков, А. С. Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе / А. С. Фиалков. – Москва: Аспект Пресс, 1979. – 718 с.

TECHNICAL SCIENCES

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INPUT DEVICE AVIATION POWERPLANT WITH A PROPELLER DRIVEN BY IONIZATION FLOW

Drach O.,

*kand. of tech. sciences, senior lecturer, Konotop Institute
Of Sumy State University, Konotop, Ukraine*

Dynnyk O.,

*kand. of tech. sciences, senior lecturer, Konotop Institute
Of Sumy State University, Konotop, Ukraine*

Gerasco K.,

*student, Konotop Institute
Of Sumy State University, Konotop, Ukraine*

Gribanov, O.

*student, Konotop Institute
Of Sumy State University, Konotop, Ukraine*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВХІДНОГО ПРИСТРОЮ АВІАЦІЙНОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ З ПОВІТРЯНИМ ГВИНТОМ ШЛЯХОМ КЕРОВАНОЇ ІОНІЗАЦІЇ ПОТОКУ

Драч О.В.,

*канд.техн.наук, старший викладач, Конопотський Інститут
Сумського Державного Університету, Конотоп, Україна*

Динник О.Д.,

*канд.техн.наук, старший викладач, Конопотський Інститут
Сумського Державного Університету, Конотоп, Україна*

Герасько К.Р.,

*студент, Конопотський Інститут
Сумського Державного Університету, Конотоп, Україна*

Грибанов О.В.

*студент, Конопотський Інститут
Сумського Державного Університету, Конотоп, Україна*

Abstract

Mathematical flow calculation methods for cylindrical channels with and without central body under and without electro-magnetic forces influence have been designed and adapted. Radial nonuniformity influence existence on the turbofan (turboprop) engine inlet duct effectiveness have been analyzed and established.

Methods of sufficient partial ionization for electromagnetic and electrostatic flow control at standard atmospheric conditions in cylindrical channel with or without central body were designed.

Анотація

Проаналізовано і доведено наявність впливу радіальної нерівномірності на ефективність вхідного пристрою двигуна з повітряним гвинтом (гвинтовентилятором)

Розроблено методи часткової іонізації в нормальних атмосферних умовах, достатньої для електромагнітного та електростатичного керування течією в циліндричному каналі з наявністю центрального тіла або без нього.

Keywords: turbofan, electromagnetic flow control, inlet duct effectiveness.

Ключові слова: турбогвинтовентилятор, електромагнітне керування течією, ефективність повітрозабирача.

Постановка проблеми Нестійка робота компресора в системі двигуна викликає інтенсивні коливання тиску робочого тіла в проточній частині тобто газодинамічні удари. В свою чергу це явище призводить до руйнування лопаток компресора, пожежі або обгоряння лопаток турбіни і, як наслідок, відмови двигуна в польоті. Посилом до початку нестійкої роботи компресора є параметри течії, що потрапляє на перші лопатки компресора. Конструктивними змінами самого компресора можливо досягти значного покращення вхідних параметрів

течії, але повністю нівелювати їх неможливо. Так нестаціонарність і нерівномірність течії на вході в компресор знижує ефективність компресора на 4-7 %

Аналіз досліджень і публікацій Аналіз друкованих видань присвячених проблемам розвитку авіації та двигунобудування показує дуже слабку висвітленість задач пов'язаних з інтеграцією параметрів повітряного гвинта, вхідного пристрою і газотурбінного двигуна в цілому. Як правило, процеси доводки спрямовані на отримання найкращих

характеристик з точки зору окремого вузла [1]. Наприклад, вважається що на виході з вхідного пристрою ми маємо отримати потік з якнайменш можливим коефіцієнтом нерівномірності та нестаціонарності потоку, але при застосуванні деяких засобів коригування потоку компресорних ступенів, як то надроторні пристрої [2] тощо, зменшення нерівномірності потоку нижчі за деякі граничні, ефективність таких пристроїв зменшується і як наслідок зменшується ККД ГТД в цілому. Тобто є нагальна потреба зістикувати отримані результати при розрахунку одного вузла з розрахунком наступного.

Досліджень, які б однозначно враховували сумісність роботи повітряного гвинта і ГТД в цілому на даному етапі не існує. Зате чимало досліджень присвячено оптимізації самого вхідного пристрою щоправда без урахування гвинта попереду [3]. Щодо розрахунків самих повітряних гвинтів і течії за ними то існує чимало різних методик які дають задовільне уявлення про аеродинамічні процеси [4] і дають змогу встановити параметри потоку перед безпосереднім входом у двигун. Далі йде окремий розрахунок течії у повітряозабирачі, тракті і перед першим ступенем компресору.

Метою роботи є розробка засобів та рекомендацій поліпшення експлуатаційних характеристик повітряозабирача (у складі авіаційної силової установки з турбогвинтовим або турбогвинтовентиляторним двигуном), шляхом електромагнітного керування течією

Матеріали і результати дослідження

Вибір методу розрахунку течії на вході в компресор

Для розрахунку течії і параметрів всередині двигуна використовувалась поелементна $k - \varepsilon$ модель, так як вона базується на описуванні процесів, які протікають в окремо взятих елементах. Для поданої роботи досить розглянути процеси що протікають на вході в повітряозабирач [5].

Числове моделювання параметрів течії під впливом електромагнітних сил

Основні рівняння магнітної газодинаміки.

Рівняння газової динаміки [6] електропровідного газу (слабко іонізованої плазми в нашому

$$\left. \begin{aligned} 4\pi\mu_B F_x &= a_y B_z - a_z B_y = B_x \frac{\partial B_x}{\partial x} + B_y \frac{\partial B_x}{\partial y} + B_z \frac{\partial B_x}{\partial z} - \frac{1}{2} \frac{\partial B^2}{\partial x} \\ 4\pi\mu_B F_y &= a_z B_x - a_x B_z = B_x \frac{\partial B_y}{\partial x} + B_y \frac{\partial B_y}{\partial y} + B_z \frac{\partial B_y}{\partial z} - \frac{1}{2} \frac{\partial B^2}{\partial y} \\ 4\pi\mu_B F_z &= a_x B_y - a_y B_x = B_x \frac{\partial B_z}{\partial x} + B_y \frac{\partial B_z}{\partial y} + B_z \frac{\partial B_z}{\partial z} - \frac{1}{2} \frac{\partial B^2}{\partial z} \end{aligned} \right\}$$

Тут $B^2 = B_x^2 + B_y^2 + B_z^2$ – величина вектора магнітної індукції, $a = \text{rot} B$.

Для отримання рівняння руху електропровідного газу в електромагнітному полі в рівнянні Нав'є-Стокса (для простоти викладок візьмемо нестисливий газ ($p = \text{const}$))

випадку [7]) за умови наявності електричного і магнітного полів мають, на відміну від рівнянь газодинаміки не струмопровідної рідини, включати додатковий член, який враховує об'ємну силу.

На елемент об'єму струмопровідної рідини dv якщо по ньому протікає струм густиною j , з боку магнітного поля діє сила Ампера

$$df_H = \frac{1}{c} [j \times B] dv$$

а з боку електричного поля – сила Кулона

$$df_e = E \rho_{v0} dv$$

Де ρ_{v0} – густина зарядів в об'ємі. $dv(\rho_{v0} dv = dq)$

Таким чином повна об'ємна електромагнітна сила, що прикладена до об'єму dv

$$df = \left\{ \rho_{v0} E + \frac{1}{c} [j \times B] \right\} dv$$

сила, яка діє на одиницю об'єму

$$F = \frac{df}{dv} = \rho_{v0} E + \frac{1}{c} [j \times B]$$

Сила Кулона по відношенню до сили Ампера є дуже малою (за швидкості близько 10^2 км/сек відносна величина сили Кулона буде дорівнювати $\sim 10^{-8}$ [6]) і нею без суттєвого погіршення результатів розрахунків можна знехтувати. Тоді

$$F = \frac{1}{c} [j \times B] = \frac{1}{4\pi\mu_B} [\text{rot} B \times B]$$

Розкладемо вектор електромагнітної сили на вісі прямокутної системи координат

$$\left. \begin{aligned} F_x &= \frac{1}{c} (j_y B_z - j_z B_y) \\ F_y &= \frac{1}{c} (j_z B_x - j_x B_z) \\ F_z &= \frac{1}{c} (j_x B_y - j_y B_x) \end{aligned} \right\}$$

Замінивши вектор напруженості магнітного поля рівнянням завихреності вектора магнітної індукції

$$\text{rot} B = \frac{1}{c} 4\pi\mu_B j$$

враховуючи умову нерозривності магнітних силових ліній

$$\text{div} B = \frac{\partial B_x}{\partial x} + \frac{\partial B_y}{\partial y} + \frac{\partial B_z}{\partial z}$$

запишемо в іншій формі

$$\left. \begin{aligned} \rho &= \frac{du}{dt} = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \Delta u \\ \rho &= \frac{dv}{dt} = Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \Delta v \\ \rho &= \frac{dz}{dt} = Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \Delta w \end{aligned} \right\}$$

або у векторній формі

$$\rho \frac{dW}{dt} = R - \text{grad} p + \mu \Delta W$$

де $\mathbf{R}$ – вектор напруги об'ємної сили.

$$\rho \frac{dW}{dt} = R - \text{grad}p + \mu \Delta W + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}W) + \frac{1}{c} [j \times B] \quad (1)$$

або

$$\rho \frac{dW}{dt} = R - \text{grad}p + \mu \Delta W + \frac{1}{3} \mu \text{grad}(\text{div}W) + \frac{1}{4\pi\mu_B} [\text{rot}B \times B]$$

Для газу нашу систему рівнянь необхідно доповнити рівнянням енергії. Для цього в рівняння енергії в праву його частину потрібно ввести додатковий член який би виражав щільність джоулевого тепловиділення на одиницю об'єму. Тоді рівняння тепловиділення (за умови $\lambda = \text{const}$, $\mu = \text{const}$) буде мати вигляд

$$\rho g \frac{di}{dt} = A \frac{dp}{dt} + \Delta T + A\mu\Phi + A \frac{j^2}{\sigma_R}$$

де член $\frac{j^2}{\sigma_R}$ і є джоулеві тепло Q_e , або

$$\rho g \frac{di}{dt} = A \frac{dp}{dt} + \Delta T + A\mu\Phi + \frac{Ac^2}{\sigma_R(4\pi\mu_B)} [\text{rot}B]^2 \quad (2)$$

Також слід додати рівняння магнітної індукції

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \text{rot}[W \times B] + \frac{c^2}{4\pi\mu_B\sigma_R} \Delta B \quad (3)$$

гідродинамічне рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}\rho W = 0 \quad (4)$$

і рівняння стану

$$p = p(\rho, T) \quad (5)$$

Тож система рівнянь 2 – 5 є повною системою диференціальних рівнянь магнітної газової динаміки.

Розглянемо двовимірну вісесиметричну течію плазми в каналі між двома коаксіальними профільованими електродами [10]. В попередніх дослідженнях [12, 11] рух плазми припускався таким, що залежить від однієї азимутальної компоненти магнітного поля H_φ і двох компонент швидкості (V_z , V_r). За наявності повздовжнього магнітного поля і обертання потоку попередньо закрученого гвинтом, в задачі приймають участь всі три компоненти магнітного поля і швидкості $\vec{H} = (H_z, H_r, H_\varphi)$, $\vec{V} = (V_z, V_r, V_\varphi)$.

Для нашого випадку можна вважати плазму квазінейтральною так як: $n_i \approx n_e = n$ і дебаєвський радіус D_e багато менше характерного розміру системи L (тобто порівняно з довжиною повітрязабирача) $D_e \ll L$.

Дебаєвським радіусом є величина

$$D_e = \frac{v_e}{\omega_0} \quad (6)$$

Тут V_e – швидкість електронів за деякої ха-

рактерної енергії. В об'ємі течії зазвичай V_e розраховується по електронній температурі

$$T_e: v_e \sim v_{Te} = \sqrt{\frac{kT_e}{m}} \quad (7)$$

Додаючи об'ємну силу F в праву частину наведеного рівняння

а в приелектродних зонах – по відповідному стрибку потенціала. Величина ω_0 є плазменною або ленгмюровською частотою:

$$\omega_0^2 = \frac{4\pi e^2 n_e}{m} \quad (8)$$

де m – маса електрона, а n_e – щільність електронів.

При числовому інтегруванні багатовимірної МГД-задачі має бути виконано умову

бездивергентності магнітного поля ($\text{div}\vec{H} = 0$). Існує декілька підходів для забезпечення соленоїдності магнітного поля. Найпростіший спосіб полягає в тому, щоб переписати рівняння з урахуванням векторного потенціала

$\vec{A} (\vec{H} = \text{rot}\vec{A})$. Такий підхід стає особливо очевидним, якщо розв'язується вісесиметрична задача $\left(\frac{\partial}{\partial \varphi} = 0 \right)$. Дійсно, в циліндричній системі координат матимемо

$$H_r = -\frac{\partial A_\varphi}{\partial z}; H_z = \frac{1}{r} \frac{\partial(rA_\varphi)}{\partial r} \quad (9)$$

де A_φ – тороїдальна компонента векторного потенціала $\vec{A}$. Співвідношення (9) в аксіально-симетричному випадку забезпечують точніше виконання умови

($\text{div}\vec{H} = 0$). Що правда, в рівняннях імпульсів слід апроксимувати другі похідні векторного потенціалу. За результатами числового моделювання, в розрахунках не спостерігається викидів в розподілі других похідних і розворотів

струму $\vec{j} = \frac{c}{4\pi} \text{rot} _ \text{rot}\vec{A}$, що свідчить про

адекватний опис процесів.

Фізична картина процесів визначається не абсолютними значеннями тих чи інших параметрів в конкретній системі одиниць вимірювання, а безрозмірними параметрами. В якості одиниць виміру оберемо розмірні константи: L – довжина

каналу; n_0 ($\rho_0 = mn_0$), T_0 , $H = H_\varphi^0 = \frac{2J_p}{cR_0}$ –

характерні значення концентрації, температури і азимутальної складової магнітного поля на вході в канал, де R_0 – радіус зовнішнього електрода, J_p –

розрядний струм в системі. За допомогою вищевказаних величин формуються одиниці: тиску –

$$\frac{H_0^2}{4\pi}, \text{ швидкості} - V_0 = \frac{H_0}{\sqrt{4\pi\rho_0}} \quad (\text{характерна}$$

$$\text{альфвенівська швидкість}), \text{ часу} - t_0 = \frac{L}{V_0}$$

(«прогоновий» час). Зв'язок вихідних розмірних величин з безрозмірними параметрами, що беруть участь в задачі, знаходиться наступним чином:

$$\beta = \frac{8\pi P_0}{H_0^2} - \text{співвідношення газового і}$$

магнітного тисків на вході, де $P_0 = 2kn_0T_0$;

$$\nu = \frac{1}{\text{Re}_m} = \frac{c^2}{4\pi L V_0 \sigma} - \text{магнітна в'язкість},$$

зворотно пропорційна магнітному числу

$$\text{Рейнольдса для спітцеровської провідності} \sigma \sim T^{\frac{3}{2}}$$

. Рівняння та граничні умови зумовлюють динаміку течії.

На вході в канал ($Z = 0$) припускаємо, що плазма подається з відомими значеннями щільності і температури $\rho(r) = f_1(r)$, $T(r) = f_2(r)$.

Якщо не розглядати додаткове рівняння електричного ланцюга, вважаємо, що напруга підтримується постійною і надходить в систему тільки через електроди, тобто $j_z = 0$ при $z = 0$ або $H\varphi = r_0 = \text{const}$ ($r_0 = \frac{R_0}{L}$).

Подані граничні умови є традиційними для числових моделей динаміки плазми в каналах за відсутності поздовжнього магнітного поля. За його наявності необхідні граничні умови для V_φ і A_φ .

Вважаємо, що плазма у вхідному отворі $Z = 0$ не обертається і азимутальна швидкість дорівнює нулю $V_\varphi = 0$

Окрім того, задамо на вході $H_z \neq 0$. Як впливає з скористаємось рівнянням радіальної рівноваги

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(P + \frac{H_\varphi^2}{2} + \frac{H_z^2}{2} \right) = \frac{\rho(V_\varphi^2)^2}{r} - \frac{H_\varphi^2}{r} \quad (10)$$

На вході в канал за умови $rH_\varphi = r_0 = \text{const}$ і $V_\varphi = 0$ з отримаємо, що

$$P + \frac{H_z^2}{2} = \text{const} \quad (11)$$

У випадку холодної плазми (нашому випадку) ($\beta = 0$) при $Z = 0$ маємо $H_z(r) = H_z^0 = \text{const}$.

В загальному випадку $\beta \neq 0$ необхідні додаткові узгодження граничних умов. Співвідношення (11) відповідає врівноваженню в радіальному напрямку течії плазми на вході. Це можливо, зокрема, для двох явних засобів подання.

Якщо $\beta \ll 1$, можлива довільна подача, в тому числі відповідно до аналітичної моделі, де

$$\rho(z=0, r) = \frac{r_0^2}{r^2} \text{ і щільність біля центрального}$$

електрода істотно вище. За таких умов можливо здійснити співставлення з аналітичним розв'язанням. В експериментах [10] спостерігається покращення характеристик плазменної течії в цілому за умов нерівномірної подачі плазми на вході.

На виході ($Z = 1$) для досліджуваних трансзвукових потоків плазми зумовлюється вільний витік плазми.

Одним із основних результатів обчислення чисельної задачі є те, що розрахунок течії вдається довести до встановлення усталеного стану не за всіх значеннях модифікаційного параметра обміну ζ , а лише тоді, коли вона належить інтервалу:

$$\zeta_-(\beta, \nu) < \zeta < \zeta_+(\beta, \nu) \quad (12)$$

де $\zeta_- < 0, \zeta_+ > 0$. Це означає, що за будь якої полярності електродів існує критичне значення параметра ζ (ζ_+ – якщо центральний електрод – анод, ζ_- – в протилежному випадку), що залежить від β і ν , за межею котрого течія не устальюється. Більш того, за значень ζ зовні інтервалу (12) вирішення задачі не існує. Розрахунок в якийсь момент часу переривається із-за повної втрати стійкості течії. Починається необмежене зростання магнітного поля і щільності в околі деякої точки анода, відбувається розліт в навсеред часток і падіння щільності плазми.

В випадку, коли модифікований параметр обміну знаходиться в межах (12), течія виходить на стаціонарний режим, і в першому наближенні його усталення проходить за пролітний час. Загальною властивістю течії з ефектом Холла є явний двовимірний характер. Всі величини розподілені за радіусом більш нерівномірно, чим в аналогічних задачах однорідної моделі. Особливо помітно ефект Холла впливає на розподілення за радіусом магнітного поля. При збільшенні ζ поле зростає біля анода і падає біля катода. Це відбувається в результаті „ковзання” струму що чітко проявляється вздовж анода. Наявність при анодного ковзання струму призводить до віджаття плазми від анода, що сприяє підсиленню вплива ефекта Холла поблизу анода.

До сих пір ми припускали, що в канал потрапляє повністю іонізована плазма, однак в нашому випадку на вході в зону фокусування відбувається іонізація нейтрального газу що подається.

Доведено, що якщо провідність іонізованого газу достатньо висока, то течія взагалі не устальюється і носить квазіперіодичний пульсуючий ха-

ракетер. В цьому випадку за час порядку прольотного, в каналі встановлюється розподіл щільності, близький до стаціонарного, і подальше відхилення від нього досить незначне.

В той же час, існують різкі коливання температури. Положення фронту іонізації коливається за часом поблизу мінімального перетину повітрязабирача. Стан перед фронтом наближений до стаціонарного. За фронтом знаходиться вузька нагріта область максимумом температури що коливається. Нагріті провідні шари плазми періодично відділяються від фронту і рухаються праворуч, холодаючи і розмазуючись за шириною. Напруженість магнітного поля спадає зліва направо практично до нуля, практично майже все падіння H приходить на пульсуючу прогріту область за фронтом іонізації. Це відповідає тому, що електричний струм „пробиває” канал в нагрітому, тобто найбільш провідному місці. Швидкість в каналі в основному монотонно зростає зліва направо, а коливання її узгоджені з коливаннями температури. Амплітуда коливань не перевищує 25-30 % середнього значення швидкості за фронтом іонізації.

Залежність температури T в точці $x = 0,7$ і положення X_{fp} фронту іонізації від часу в інтервалі $17 < t < 20$.

Відсутність стаціонарного режиму течії за наявності великого стрибка провідності пояснюється кінець кінцем тими ж причинами, що і відсутність сильного розриву течії в звичайній (немагнітній) газодинаміці. Тому стаціонарна зона іонізації може бути лише в тому випадку, якщо вона розмазана на більшу довжину каналу, в протилежному випадку вона не стаціонарна. Існує багато експериментальних робіт, в яких описано несталість фронту іонізації.

Нехтуючи ефектом Холла ($V_e = V_i$), приходимо до режиму непроникних суцільних екіпотенціальних електродів, котрий в реальній фізичній практиці ($V_e \neq V_i$) є виродженням.

Приймаючи граничні умови на електродах $r = R_1(z)$ і $r = R_2(z)$, утворюючих стінки каналу, зумовлюють екіпотенціальність електродів ($E_r = 0$) і непроникність поверхні для плазми ($V_n = 0$). За наявності повздовжнього магнітного поля необхідно додаткове співвідношення. В плазmodинаміці $H_n = 0$ є типовою умовою, що пов'язує компоненти магнітного поля на границі плазма– провідник. Вона призводить до збереження магнітної течії вздовж каналу. Таким чином, на електродах, що обмежують досліджуваний плазмовий об'єм, виконуються наступні умови:

$$E_r = 0; V_n = 0 \text{ і } H_n = 0.$$

В випадку плазми кінцевої провідності при $V_n = 0$ співвідношення, дає $v_{jz} + vR_{1,2}^I j_r + SV_\phi H_n = 0$. Тут $R_{1,2}^I = \frac{dR_{1,2}}{dz}$; $S = \sqrt{1 + (R_{1,2}^I)^2}$.

Вираз $H_n = 0$ насправді можливо замінити більш точним співвідношенням $E_\phi = 0$, котре при

$$V_n = 0 \text{ дозволяє знайти } H_n = \frac{V_{j\phi}}{SV_z}.$$

Випадку ідеально провідної плазми (магнітна в'язкість $\nu = 0$) з $E_\phi = 0$ впливає загальноприйнята умова $H_n = 0$.

В МГД-моделях течій плазми в каналах з суцільними електродами можлива постановка більш містких граничних умов, що відображали б складні процеси в тонких приелектродних шарах і на границі з діелектриком. З цією метою проводились детальні дослідження внутрішньої структури шарів. Крім того ведуться роботи по вивченню взаємодії плазми з поверхнею різних матеріалів і їх корозії.

Методика числового інтегрування досить детально вивчена, і в поданій роботі не потребує детального розкриття, достатньо для нашої задачі обмежитися набором методів добре зарекомендувавших себе, часто використовуваних і досить апробованих на подібному нашому класі явищ.

У обраній моделі течії що обертається проводиться розщеплення за фізичними факторами і координатами (z, r) . В розрхунку переносу з корекцією течії використано алгоритм, розроблений для інтегрування узагальненого одномірного рівняння переносу і адаптований з врахуванням розщеплення. Рівняння переносу для величини A_ϕ обчислюється за допомоги одного з характеристичних методів.

Вплив дисипативних факторів обчислюється на основі неявної схеми. В поданому випадку використовується потоковий варіант метода прогонки.

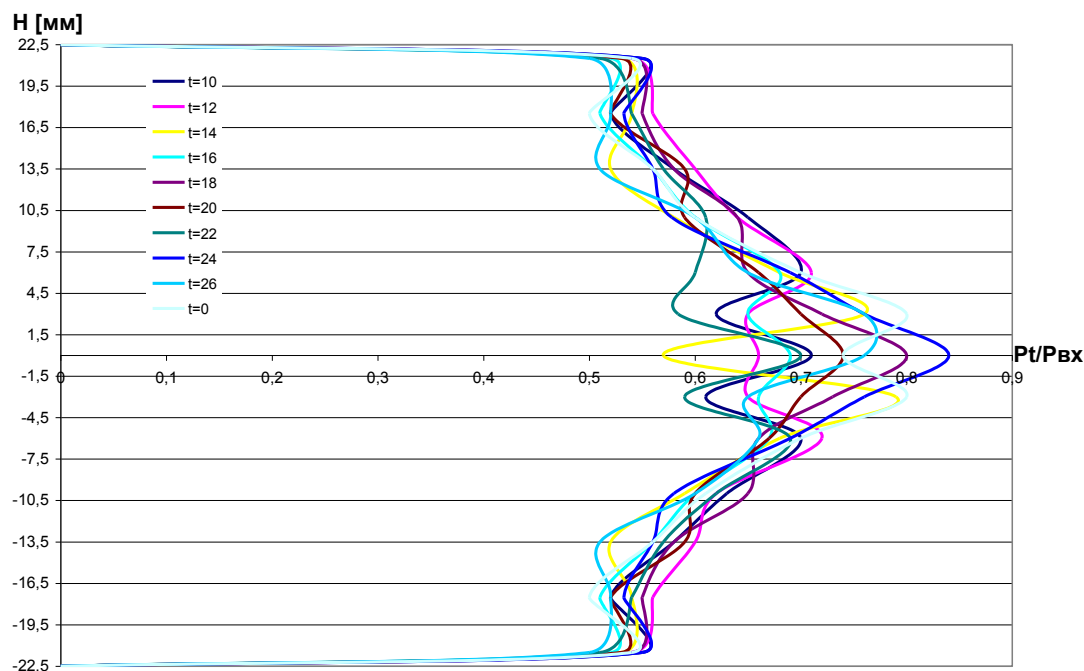
Числовий експеримент

Числовий експеримент проведено з використанням засобів комп'ютерного математичного моделювання з вбудованим магнітогідродинамічним модулем.

Розрахункова сітка складається з 797563 гексаедричних елементів.

Така схема відповідає основній задачі – розрахувати і відобразити зміну тисків у центрі потоку до електромагнітного втручання і під час.

Під впливом електромагнітних сил відбувся перерозподіл тиску за перетином каналу. Цей ефект досягнуто завдяки відтисканню течії від периферії до центру.



Коефіцієнт радіальної нерівномірності $\Delta \overline{p}_a$ визначався як відношення максимального прирощення місцевого тиску в радіальному перетині до осередненої величини тиску $\overline{p}_a^*$. При оцінці радіальної нерівномірності поряд з коефіцієнтом $\Delta \overline{p}_a$ враховувався характер відтиснення течії (до центру чи до периферії) і протяжність зони падіння (зростання) тисків. За протяжність цієї зони приймався участок висоти каналу, обмежений з боку периферії значенням r_n

в яких $\frac{p_a}{p_a^*} = 1$.

Таким чином, радіальна нерівномірність характеризується коефіцієнтом нерівномірності, відносною протяжністю зони збільшених (зменшених) тисків $\bar{l}$ з вказуванням характеру відтиснення течії.

За проведеними підрахунками коефіцієнт радіальної нерівномірності $\Delta \sigma_p = \Delta \overline{p}_a \cdot 100\%$ знаходився в межах 16,3-19,8 %, а протяжність зони збільшених (зменшених) тисків $\bar{l}$ дорівнювала ~ 30 мм.

Висновки

1. В процесі дослідження параметрів течії в циліндричному каналі було обрано і успішно адаптовано моделі турбулентності та протікання МГД процесів, за якими отримано розподіл тисків за перетином каналу.

2. Порівнюючи результати числових досліджень можна зробити висновок про наявність

істотного зменшення коефіцієнту радіальної нерівномірності потоку за умови введення МГД ефектів в математичну модель.

3. Аналітичним методом отримано оптимальне значення коефіцієнту інтенсивності $A \approx 6,5$, при якому МГД ефекти проявляються повною мірою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. Пермь. ОАО «Авиадвигатель», 2006, -1204 с.
2. Волянська Л.Г., Панін В.В., Гаююн Сунь. Методи і засоби підвищення газодинамічної стійкості компресорів газотурбінних двигунів: Монографія. – К. НАУ, 2005. -200 с.
3. Дейч М.Е., Зарянкин А.Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. М: Энергия, 1970. -384 с.
4. Жуковский Н.Е., Полное собрание сочинений, т. 6, М. – Л., 1973.
5. Добрянский Т.В., Мартянова Т.С. Динамика авиационных ГТД.//М.:Машиностроение, 1989, 240 с.
6. Абрамович Г.Н. Прикладная Газовая динамика//Изд. третье/Москва: Изд. Наука. Главная редакция Физ.-Мат. литературы 1969, 824 с.
7. Вопросы теории плазмы/под ред М.А. Леонтовича//Выпуск 1. – М.:Госатомиздат, 1963, 287 с.
8. Анализ состояния аварийности в гражданской авиации Украины за период 1998-2007 годы. ГОСАВИААДМИНИСТРАЦИЯ Киев 2008.
9. Брушлинский К.В., Морозов А.И. Расчет двумерных течений плазмы в каналах. // Вопросы теории плазмы. / Под ред. М.А. Леонтовича. М.: Атомиздат, 1974. вып. 8. С. 88-163.

10. Козлов А.Н. Особенности динамики плазмы в КСПУ в процессе установления течения. // Физика плазмы. 1992. Т. 18, № 6. С. 714-723.

11. Морозов А.И. Физические основы космических электрореактивных двигателей. М.: Атомиздат, 1978.

УДК159.9: 656.61

THE OBSERVER'S BEHAVIOR STATE MODEL IN THE CIRCULAR OVERVIEW SYSTEM, WHILE ENSURING THE SAFETY OF NAVIGATION

Kukui F.,

Candidate of technical sciences,

Leading engineer of department of transport securing LCC "Gazprom нефть шельф"

Men'shikov V.

Doctor of technical science,

professor, professor of department of navigation, Murmansk state technical university (MSTU)

МОДЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОВЕДЕНИЯ НАБЛЮДАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КРУГОВОГО ОБЗОРА ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

Кукуи Ф.Д.,

Кандидат технических наук,

Ведущий инженер Управления по транспортному обеспечению, ООО «Газпром нефть шельф»

Меньшиков В.И.

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «судовождение»

Мурманского государственного технического университета (МГТУ)

Abstract

The paper considers dynamic model of the observer's behavior in the ship's system of circular overview, with topology taking into account the fact that the ship's specialist observing and regulating any hazards while navigation and fishing should be guided by knowledge and experience of watch keeping.

Аннотация

В статье рассматривается динамическая модель поведения специалиста в судовой системе кругового обзора, с топологией, учитывающей тот факт, что судовой специалист при наблюдении и разрешении опасных навигационных или промысловых ситуациях, руководствуется знанием технологии несения вахты и имеющимся опытом.

Keywords: Circular overview system, observer's behavior, human element.

Ключевые слова: система кругового обзора, поведение наблюдателя, человеческий элемент.

Ведение

Статистика показывает, что действия «человеческого фактора» в 80 % являются основой развития аварийных ситуаций, как с транспортными, так и промысловыми судами. Кроме того, такая статистика свидетельствует, что самым слабым звеном системы «человек - судно - среда» является человек. Поэтому человеческое звено следует укреплять, помогая специалистам справляться с тем, с чем сегодня он уже справиться не в состоянии.

Известно, что надежность любой системы управления состоянием судна зависит в первую очередь от времени, необходимого на выполнение операции по выбору того или иного управления. Ошибки же «человеческого элемента», в первую очередь, связаны с недостатком времени на принятие решений и реализацию управлений. В настоящее время изменения среды, окружающей судно, достигли природных способностей человека к восприятию ситуационного динамизма. Так, например, объем оперативной памяти, и информационная пропускная способность человека на мостике судна довольно низкие и не соответствуют реалиям [8]. Именно поэтому в рамках научно-технической революции рабочие ме-

ста по управлению состоянием безопасности мореплавания суда оснащаются экспертными системами, усиливающими те качества «человеческого элемента», которые у него недостаточно развиты.

Цель данной работе – разработка динамические модели поведенческих состояний наблюдателя судового обзора и оценить среднее время, при котором наблюдатель, выполняя функции управления, теряет способность к владению ситуацией.

1. Вероятность поведенческих состояний наблюдателя в системе судового кругового обзора

Одной из основных обязанностей «человеческого элемента» при управлении состоянием безопасности мореплавания является наблюдение за состоянием окружающей среды, осуществляемое в системе кругового обзора, и принятие управленческих решений, с привлечением экспертных систем, минимизирующих риск принятия ошибочных решений при управлении опасными навигационными ситуациями. Поэтому при выполнении операций с минимизацией риска от выбора ошибочных или не работающих решений, приводящих к генерации опасных навигационных ситуаций, достаточно

важным является составление динамических моделей поведения наблюдателя в судовой системе кругового обзора. При составлении модели динамики поведения, характеризующего состояние наблюдателя в судовой системе кругового обзора, наиболее перспективным может быть использование вероятностного метода описания. Топология такой модели должна учитывать тот факт, что наблюдатель, руководствуясь знанием технологии несения вахты и имеющимся опытом, обычно создает концептуальную модель и оценивает по ней возможные результаты от разрешения опасной ситуации. Процессу составления концептуальной модели ситуации и принятия решения о ее разрешении предшествует прием, преобразование и дешифровка информации о навигационной ситуации. Тогда сравнение ожидаемого результата разрешения с наблюдаемым результатом разрешения ситуации позволяет принять ряд альтернативных гипотезы, с помощью которых можно определить динамику состояний поведения наблюдателя в судовой системе кругового обзора. Пусть альтернативные гипотезы, принятые за лингвистические параметры (далее просто параметры) определяют те или иные динамические состояния поведения наблюдателя, присущие ему в рамках практической деятельности в судовой системе кругового обзора. Эти параметры можно зафиксировать следующим образом:

- A_0 – гипотеза о том, что навигационная информация о результатах фактического разрешения ситуации, идентична ожидаемой информации и отношение идентичности правильно воспринято лицом, принимающим решение (ЛПР);

- A_1 – гипотеза о том, что навигационная информация о фактическом результате разрешения ситуации, не идентична планируемому результату, но правильно принята, преобразована и декодирована ЛПР;

- A_2 – гипотеза о том, что оба вида информации о результатах разрешения ситуации связаны отношением идентичности, но ЛПР искажил эту информацию при приеме, преобразовании и декодировании;

- A_3 – гипотеза о том, что оба вида информации о результатах разрешения ситуации в действительности не идентичны, при этом информация о реальном результате дополнительно искажена ЛПР в процессе ее восприятия, обработки и декодирования.

Пусть далее альтернативы, формируя фиксированные состояния поведения наблюдателя в судовой системе кругового обзора после приема, декодирования и преобразования информации, образуют полную группу событий. Тогда состояниям поведения наблюдателя из системы кругового обзора для трех последних параметров, должны быть свойственны информационные искажения, приводящие к нарушению равновесного поведения. В тоже время состояние поведения наблюдателя, отвечающее первому параметру, следует связывать с существующим понятием динамической равновесности - гомеостазису.

Равновесное поведение наблюдателя при разрешении опасных ситуаций является наиболее предпочтительным, поскольку позволяет оптимально осуществлять как прием, декодирование и преобразование информации о результатах разрешения ситуации, так и принимать решения при максимальной величине функции готовности «человеческого фактора» [5]. Здесь следует обратить особое внимание на то, что при нарушении равновесного состояния поведения наблюдателя принципиально возможны процессы как полного, так и частичного восстановления равновесного состояния поведения наблюдателя. Более того при нарушении равновесного состояния поведения наблюдателя имеется реальная возможность потери способности к владению ситуацией [6].

Свяжем приведенные выше параметры A_i , определяющие состояния поведения наблюдателя, двояко направленными связями V_i фиксирующими переходы от одного состояния в поведении наблюдателя к другим состояниям. Тогда составленный циклический граф $Q(A_i, V_i)$, можно принять за моделью динамики состояний поведения наблюдателя, реализуемых в судовой системе кругового обзора (Рис.1.)

1). При этом случайное время поведения наблюдателя, определяемое состоянием параметров A_i до перехода за один шаг к состоянию, соответствующему параметру A_j будем характеризовать законами распределения (переходными вероятностями) $\Phi_{ij}(t)$. В тоже время случайное время поведения наблюдателя, отвечающего конкретному параметру A_i законом распределения (вероятностями) $\Phi_i(t)$ [7].

Таким образом, предложенная в виде графа $Q(A_i, V_i)$ модель динамики поведенческих состояний наблюдателя в судовой системе кругового наблюдения позволяет, во-первых, оценить вероятность появления тех или иных конкретных форм его поведения, а во-вторых, определить среднее время, при котором он может полностью потерять способность к владению навигационной ситуацией (поведение с параметром A_3).

При определении вероятности появления состояний, формирующих динамику поведения наблюдателя в системе кругового наблюдения будем считать, что $A = \{A_i\}$ представленные как вершины графа являются параметрами поведенческих состояний, а связи $V_i = \{V_i\}$ в графе отражают свойство направленного динамизма этих состояний.

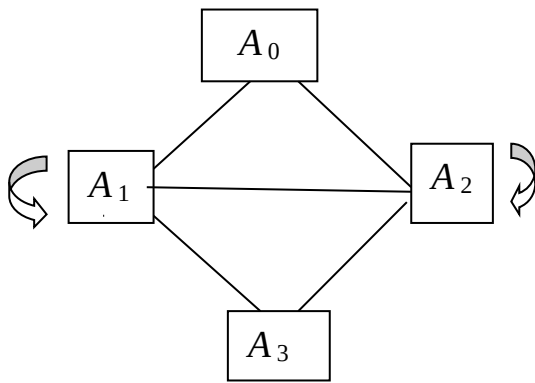


Рис. 1.

Модель динамики состояний поведения наблюдателя, реализуемого в судовой системе кругового обзора. Тогда если допустить, что из поведенческого состояния наблюдателя, определенного параметром A_0 возможен переход в поведенческое состояние с параметром A_1 или параметром A_2 , (Рис.1), то закон распределения времени $\Phi_0(t)$ равновесного поведения этого наблюдателя следует искать в виде, суммы двух сверток [7], т. е.

$$\Phi_0(t) = \Phi_{01}(t) * \Phi_1(t) + \Phi_{02}(t) * \Phi_2(t) \quad (1)$$

где знаком $*$ обозначена свертка двух законов распределения, причем:

$$\Phi_{01}(t) * \Phi_1(t) = \int_0^t \Phi_{01}(x) d\Phi_1(t-x),$$

$$\Phi_{02}(t) * \Phi_2(t) = \int_0^t \Phi_{02}(x) d\Phi_2(t-x).$$

Закон распределения $\Phi_0(t)$, найденный по описанию лингвистического параметра A_0 и в рамках динамической модели (Рис.1) может быть преобразован в морфологический параметр, который определяет свойство состояния равновесного поведения наблюдателя в судовой системе кругового обзора. В тоже время допустимо преобразование морфологического параметра $\Phi_0(t)$ в физическую величину, например, в оценку среднего времени равновесного поведения наблюдателя, когда он способен к достоверной реализации принципа «владения ситуацией» [6].

В соответствии с предложенной динамической моделью параметры $A_1 - A_3$ определяют одно общее сложное состояние наблюдателя, которое выше было определено, как не равновесное состояние судового специалиста. Используя описание модели поведения наблюдателя в системе кругового обзора, найдем морфологические параметры направленных переходов вида $\Phi_{ij}(t)$. Тогда параметры переходов $\Phi_{01}(t)$ и $\Phi_{02}(t)$, используемые

в выражении (1) можно найти, если руководствоваться следующими стандартными рассуждениями [7]. Так если наблюдатель в системе кругового обзора будет находиться в поведенческом состоянии с параметром A_1 на интервале времени $(x, x + \Delta x)$ до момента его перехода в поведенческое состояние A_0 , то вероятность такого события можно оценить так:

$$[1 - R_1(x)] F'(x) \Delta x = Q_1(x) F'(x) \Delta x,$$

где $F'(x)$ - закон распределения времени в течении которого сохраняются поведенческие состояния наблюдателя с параметрами $A_0 - A_3$ до их изменений; $R_1(x)$ - закон распределения времени восстановления отношения идентичности результатов в состоянии с параметром A_1 , причем

$$Q_1(x) = [1 - R_1(x)].$$

Если устремить величину Δx к нулю и суммировать по всем значениям времени x от нуля до t , то получим законы распределения времени перехода за один шаг от поведенческого состояния наблюдателя с параметром A_1 к поведенческому состоянию наблюдателя с параметром A_0 , определиться так:

$$\Phi_{01}(t) = \int_0^t Q_1(x) dF(x).$$

Аналогично можно получить закон распределения времени перехода от поведенческого состояния параметром A_2 к поведенческому состоянию наблюдателя с параметром A_0

$$\Phi_{02} = \int_0^t P(x) dR_1(x),$$

где $P(x) = 1 - F(x)$.

Законы распределения $\Phi_1(t)$ и $\Phi_2(t)$, входящие в выражение (1), для не равновесных (не устойчивых) поведенческих состояний наблюдателя с параметрами A_1 и A_2 , будем искать, используя следующую систему сверток

$$\Phi_1(t) = \Phi_{11}(t) * \Phi_1(t) + \Phi_{12}(t) * \Phi_2(t) + \Phi_{13}(t)$$

$$\Phi_2(t) = \Phi_{21}(t) * \Phi_1(t) + \Phi_{22}(t) * \Phi_2(t) + \Phi_{23}(t)$$

где $\Phi_{11}(t)$ и $\Phi_{22}(t)$ - законы распределения времени переходов из состояний поведения наблюдателя с параметрами A_1 и A_2 в эти же состояния. Путем рассуждений аналогичных нахождению закона распределения $\Phi_{01}(t)$ можно получить за-

коны распределения времени восстановления состояний с морфологическими параметрами $\Phi_{11}(t)$ и $\Phi_{22}(t)$. Для наглядности без вывода приведем выражение, определяющее закон распределения времени Φ_{11} поведения наблюдателя состоянии с параметром A_1 , записав его следующим образом:

$$\Phi_{11}(t) = \int_0^t G(x)Q_1(x)dF(x) + \int_0^t \left[\int_0^x R_1(y)dG(y) \right] dF(x) \quad (2)$$

где $G(x)$ – распределение времени восстановления состояний наблюдателя с параметрами $A_0 - A_3$ в рассматриваемой системе кругового обзора.

Используя аналогичные рассуждения можно составить закон распределения времени восстановления состояния с параметром $\Phi_{22}(t)$, а так же законы распределений времени переходов из состояний с параметрами A_2 и A_3 в состояние с параметром A_1 записав их так:

$$\Phi_{12}(t) = \int_0^t P(x)G(x)dQ_1(x), \quad (3)$$

$$\Phi_{13}(t) = \int_0^t [1 - G(x)]dF(x), \quad (4)$$

Таким образом, лингвистические параметры состояний наблюдателя A_0 и A_3 из модели (Рис.1) преобразованные в морфологические параметры $\Phi_{ij}(t)$ и $\Phi_i(t)$ позволяют оценить, закон распределения времени $\Phi_0(t)$ в течение которого этот наблюдатель обладает равновесным поведением, наиболее благоприятным для реализации принципа «владения ситуацией».

В тоже время, анализируя параметры переходов в динамической модели $Q(A_i, V_i)$, можно дополнительно сформулировать ряд свойств, определяющих порядок в поведении наблюдателя применительно к не равновесному режиму поведения в судовой системе кругового обзора. Так в выражении (2) первое слагаемое является вероятностью того, что наблюдатель изменит свое текущее поведенческое состояние на состояние с параметром A_3 , но только после реализации поведенческого состояния с параметром A_1 , но раньше наступления поведенческого состояния с параметром A_2 . Второе слагаемое в этом выражении является вероятностью появления события, когда поведенческое состояние с параметром A_2 не реализуется, поскольку к требуемому моменту времени наблюдатель еще находится в поведенческом состоянии с параметром A_1

. Выражение (3) для параметра $\Phi_{12}(t)$ показывает, что у наблюдателя момент начала поведенческого состояния с параметром A_2 наступает только после завершения поведенческого состояния с параметром A_1 , но до момента формирования поведенческого состояния с параметром A_3 . Структура выражения (3) так же позволяет утверждать о том, что вероятность перехода $\Phi_{12}(t)$ можно оценить лишь в том случае, когда имеет место достоверная информация о результатах разрешения ситуации в поведенческом состоянии с параметром A_2 .

Зависимость, отражающая закон распределения времени перехода $\Phi_{13}(t)$, показывает, что поведенческое состояние с параметром A_3 может появиться только до момента формирования поведенческого состояния с параметром A_1 . Более того следует отметить, что практический результат при оценке времени перехода из состояния с параметром A_3 в состояние с параметром A_1 можно получить лишь после завершения поведенческого состояния с параметром A_3 , но до момента наступления поведенческого состояния с параметром A_1 .

В заключение можно составить закон распределения времени перехода из поведенческого состояния с параметром A_1 в поведенческое состояние A_2 и записать его так

$$\Phi_{21}(t) = \int_0^t Q_1(x)R_2(t)dF(x) + \int_0^t \left[\int_0^x R_1(y)dR_2(y) \right] dF(x) \quad (5)$$

где $R_2(t)$ -закон распределения времени восстановления информации об отношении идентичности результатов в состоянии с параметром A_2 , при выполнении условия $G(t) \leq R_2(t)$.

В этом выражении первое слагаемое является вероятностью того, что данные о результатах разрешения ситуации могут содержать ошибку в принятом решении. Ошибка возможна, если дополнительная информация о результатах разрешения ситуации поступит к наблюдателю до момента принятия решения или после принятия этого решения. Второе слагаемое в выражении (5) определяет вероятность появления ошибки в принятом решении, когда изменения результатов разрешения ситуации не наблюдались постольку, поскольку к требуемому моменту времени были еще не закончены управления ситуацией по предыдущей информации о результатах. Таким образом, предложенная динамическая модель поведения наблюдателя в судовой системе кругового обзора позволяет:

- оценивать среднее время T_r нахождения наблюдателя в состоянии равновесного поведения наблюдателя, наиболее полно соответствующего условиям реализации принципа владения ситуаций;

- формировать некоторый порядок в переходах от одного поведенческого состояния наблюдателя к другому.

2. Методика определения среднего времени, при котором наблюдатель может полностью потерять способность к владению навигационной ситуацией

Для оценки среднего времени, при котором наблюдатель, осуществляя управление судном способен реализовывать принцип «владения ситуацией» при этом безошибочно следя за развитием опасной ситуации по оцениваемым результатам разрешения [6]. Оценку среднего времени в течение, которого наблюдатель способен осуществлять безошибочное управление (разрешение) опасной ситуации, в рамках принятой поведенческой модели, можно осуществить, используя для этого следующую систему равенств:

где, $\Phi_{22}(t)$ – закон распределения времени в течение, которого переход осуществляется по текущим результатам разрешения ситуации, когда эти результаты наблюдаются ранее, чем происходит их искажения, но после представления предыдущих результатов;

- $\Phi_{23}(t)$ – закон распределения времени, в течение которого ошибка в используемых результатах разрешения ситуации произойдет до завершения поступления к наблюдателю предыдущей информации о состоянии ситуации.

$$\Phi_0(s) = \{ \Phi_{01}(s) [\Phi_{13}(s)(1 - \Phi_{22}(s)) + \Phi_{12}(s)\Phi_{23}(s)] + \Phi_{02}(s) [\Phi_{23}(s)(1 - \Phi_{11}(s)) + \Phi_{13}(s)\Phi_{21}(s)] \} / [(1 - \Phi_{11}(s))(1 - \Phi_{22}(s) - \Phi_{12}(s)\Phi_{21}(s))] \quad (1.8)$$

При синхронном поступлении информации о результатах управления ситуацией и реализуемых управлений, можно найти среднее время равновесного поведения наблюдателя T_p в судовой системе кругового обзора:

$$T_p = \int_0^{\infty} t d\Phi_0(t) \quad (9)$$

или сравнивая выражение (7) при $i = 0$ с выражением (9) окончательно записать так:

$$T_p = -d\Phi_0(s) / ds |_{s=0}$$

Таким образом, получено среднее время равновесного поведения наблюдателя T_p , позволяющее ему при несении ходовой вахты и выполнении функций по наблюдению за окружающей средой в системе кругового обзора одновременно эффективно разрешать, опасные навигационные или промысловые ситуации в рамках принципа «владения ситуацией».

Заключение

Статистика показывает, что действия «человеческого фактора» доминируют всех аварийных ситуациях, происходящих как с транспортными, так и промысловыми судами. Кроме того, такая статистика свидетельствует, что на судне самым слабым звеном системы управления «человек - судно - среда» явля-

Если далее учесть эти равенства и использовать преобразования Лапласа – Стильтеса, то можно составить систему уравнений для законов распределения случайных интервалов времени, в течение которых состояние поведения наблюдателя характеризуется параметрами $A_0, A_1 \dots A_3$, записав ее так:

$$\begin{aligned} \Phi_0(s) &= \Phi_{01}(s)\Phi_1(s) + \Phi_{02}(s)\Phi_2(s); \\ \Phi_1(s) &= \Phi_{11}(s)\Phi_1(s) + \Phi_{12}(s)\Phi_2(s) + \Phi_{13}(s); \\ \Phi_2(s) &= \Phi_{21}(s)\Phi_1(s) + \Phi_{22}(s)\Phi_2(s) + \Phi_{23}(s); \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$\Phi_i(s) = \int_0^{\infty} (\exp - st) d\Phi_i(t) \quad (i = 0, 1, 2) \quad (7)$$

$$\Phi_{ij}(s) = \int_0^{\infty} (\exp - st) d\Phi_{ij}(t) \quad (i, j = 0, 1, 2, 3).$$

Решая систему уравнений (6) относительно $\Phi_0(s)$, после несложных алгебраических преобразований получим:

ется человек. Поэтому человеческое звено в условиях эксплуатации судна необходимо укреплять, помогая судовым специалистам справляться с тем динамизмом среды, с которым они, сегодня уже не в состоянии справиться.

Составленная динамическая модель поведения специалиста в судовой системе кругового обзора, с топологией учитывающей тот факт, что судовой специалист при наблюдении и разрешении опасных навигационных или промысловых ситуациях, руководствуется знанием технологии несения вахты и имеющимся опытом позволяет:

- во-первых, оценить вероятность появления тех или иных конкретных форм поведения наблюдателя;
- во-вторых, определить среднее время, при котором он может управлять опасными ситуациями в рамках принципа владения этими ситуациями.
- в-третьих, формировать некоторый порядок в переходах от одного поведенческого состояния наблюдателя к другому.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Боровков А. А. Теория вероятностей. М. : Наука, 1976. 347 с.
2. Катенин В. А., Дмитриев В.И. Навигационное обеспечение судовождения. Москва : Академкнига, 2006. 372 с.

3. Кукуи Ф.Д., Скороходов Д.А. К вопросу об обеспечении безопасности судна судоводителем // Наука и транспорт. №2. Москва 2012. С. 30 – 33.
4. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978/95 года (ПДМНВ–78/95) с поправками.
5. Меньшиков В. И., Глущенко В. М., Анисимов А. Н. Элементы теории управления безопасностью судоходства. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2000. 242 с.
6. Организационно-технические структуры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию судна / М. А. Гладышевский, М. А. Пасечников, К. В. Пеньковская ; под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. 212 с.
7. Основные процессы в структурах безопасной эксплуатации судна / Ф. Д. Кукуи, Н. А. Анисимов, А.А. Анисимов; под общ ред В. И. Меньшикова. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2008. 185с.
8. Проблемы безопасного мореплавания в сложных навигационных условиях стесненных вод / В. И. Меньшиков, А. Н. Сулов, В. В. Шутов; под общ. ред. В. И. Меньшикова. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2013.186 с.
9. Резолюция ИМО А.772 (18) «Фактор усталости при укомплектовании судов экипажами и обеспечении безопасности» от 04 ноября 1993 г.
10. Резолюция ИМО А.947 (23) «Принципы и цели организации в отношении концепции человеческого элемента» от 05 ноября 2003 г.

THE MAGNETIC FIELD OF A MULTI-PHASE INDUCTION DEVICE WITH SWITCHING WINDINGS FROM A TRIANGLE TO A STAR

Tyapin A.,

Postgraduate student, Siberian Federal University

Kinev E.

Candidate of technical sciences, Director Thermal Electric Systems LLC

Abstract

The peculiarities of the configuration of the magnetic field of an induction device designed to influence the molten metal are considered. The windings of the induction machine are made switchable, from a triangle into a star, which ensures the operation of the device when pumping, transporting, or mixing aluminum alloys. Heating the melt with a field is able to ensure the removal of aluminum plugs at the start, as well as to compensate for heat losses during casting. The device is one of the varieties of linear MHD machines with a core and windings, with a variable number of pole pairs. The sequence of switching windings is determined by the algorithm of the control unit modules. Due to the open configuration of the magnetic circuit of the MHD inductor, asymmetry of the magnetomotive forces of the windings occurs, which leads to a distortion of the low-frequency traveling magnetic field. The nature of the asymmetry of the electromagnetic mode of the shortened inductors for different winding switching circuits can be estimated from the model of the magnetic circuit. The distribution of magnetic flux vectors is estimated from the results of an iterative calculation of a nonlinear multiphase magnetic circuit of an induction machine. For the scheme of separate switching on the phases of the inductor, there is a software-algorithmic method for controlling the power switches of a three-phase IGBT inverter operating at lower frequencies. Regulation of the force and intensity of heating is performed by redistributing by the linear current load between the phases of the inductor. With the proper choice of the winding connection scheme, the proposed device provides a continuous circular raster of flows in the cores, creating uniform traction forces and increasing the effect on the melt.

Keywords: inductor of longitudinal magnetic field; three-phase induction device; switching the triangle of windings into a star; vector diagram of magnetic fluxes; nonlinear multiphase model of a magnetic circuit; asymmetry of the three-phase frequency inverter mode.

Most industrial induction devices are designed for use in three-phase shop electrical distribution networks. This is due to the advantages of a three-phase system in the transmission of increased power, compared to a single-phase one. But there is another advantage in the industrial power supply, which is the possibility of power supply of induction equipment, both on the phase and on the line voltage. In addition to the magnitude of the supply voltages, their space-time orientation is essential. With regard to devices with windings, this is convenient, since it allows you to control the internal magnetic field. For the common schemes of connecting three-phase windings with a star and a triangle, it is possible to perform a mutual switching procedure for a radical change in the characteristics of the equipment. In electric machines, such switching leads to changes in

the number of poles and the frequency of rotation of the motors. This effect can be successfully used to create linear induction machines for metallurgical purposes.

Many relatively old [1-3, 10, 15] and new publications [4, 5, 8, 9, 11, 12, 14-17] are devoted to the development of induction machines. The literature shows that transverse and longitudinal magnetic field inductors have found application in magnetohydrodynamic stirrers, pumps, and gates for the force effect on an aluminum melt during its transportation from a furnace or dosing. In addition to the force effect on the melt, induction machines provide thermal effects and can be used to heat aluminum when it is pumped between tanks.

A dosing device for a liquid metal containing a ceramic pipe located between the poles of an inductor

running magnetic field was proposed in [1, p.2]. This device provides for the possibility of melting the "plug" of the frozen metal at the beginning of casting and its formation at the end of casting. This approach provides overlap of the pipe in the interval between the casting of molten metal, as well as the possibility of automating the process. However, the application of the proposed device, it is difficult to normalize the release in the molten metal the amount of heat that may be excessive.

In a similar device for pumping a liquid metal, proposed in [2, 3], the melt is driven by electromagnetic forces of a traveling magnetic field. The running electromagnetic field induces induced currents in the liquid metal, the interaction of which with the inductor field creates electromagnetic forces. The electromagnetic inductor creates pressure in the melt, which ensures the lifting of the metal to a certain height in order to overcome the hydraulic resistance of the liquid metal. Simultaneously with the mechanical force, the induced currents cause the release of heat in the liquid metal. It can be used to prevent metal from cooling.

The disadvantage of this method of moving a liquid metal is that the heat released in the liquid metal, while creating the required amount of hydraulic head, may be excessive. This can lead to overheating of the metal, violation of the technological process of preparation of the alloy. Another risk is the lack of heat and solidification of the metal before moving or mixing [4, p.3].

In addition to the listed induction devices, electric motors are known that have two or more rotational speeds. By changing the stator winding circuit, you can change the number of poles and get different speeds when powered from a source of constant frequency. By switching the windings and changing the direction of the current in the coil group or phase, they get twice the number of poles. Such regulation is convenient to use in induction machines.

Formulation of the problem. The effect of an electromagnetic field on metal melts seems to be a universal way to control casting. Considering the simplicity and efficiency of electromagnetic inductors of a longitudinal magnetic field, it is necessary to develop an

MHD device suitable for pumping, metering and mixing molten aluminum. The creation of an induction device should provide simple winding switching controls for the most common triangle or star insertion schemes. In the power supply system of an induction device, a three-phase low-frequency IGBT inverter can be used, capable of stably operating at the edge of the frequency range, with a high asymmetry of currents in phases.

Decision. The above technical devices provide the ability to control the electromagnetic pressure developed by the electromagnetic pump, built on the basis of a longitudinal magnetic field inductor [5, p.65]. The effect of controlling the casting of metal can be obtained by switching the connection "double star" - "single triangle". Regulation of the regime is achieved by using a combined circuit of switching on windings with controlled keys and using a three-phase frequency converter [6, p.57].

The proposed induction device acts on non-ferrous metals, therefore, using three-phase inverters in the windings, they create low-frequency currents, increasing the penetration depth of the electromagnetic wave. The fixed values of the frequency of currents in MHD machines are significantly different. For dispensers, the frequency values are chosen higher, for electromagnetic trays the current frequency is optimized in the range of 5-15 Hz, for stirrers the range is 0.5-1.5 Hz [7, p.27]. By varying the voltage, it is possible to control the linear current load by changing the electromagnetic pressure [8 - 10]. At the same time, the power released in the liquid metal is also regulated.

The section of the induction MHD device placed in the wall of the furnace is shown in fig. 1, a. Inductor 1 for pumping high-temperature melt is installed in the space of the wall of the stationary furnace through the flanges 2 inside the cast iron plate 3. At the end of the tray there is a section 4 for transporting the melt from the furnace to the casting machine. To protect the inductor from molten aluminum, lining is used [10, 11]. It consists of a rear cinder stone 5, a heat-insulating tube 6 and a front cage stone 7. The inductor of the MHD device is connected to the inverter through a switching unit (SU).

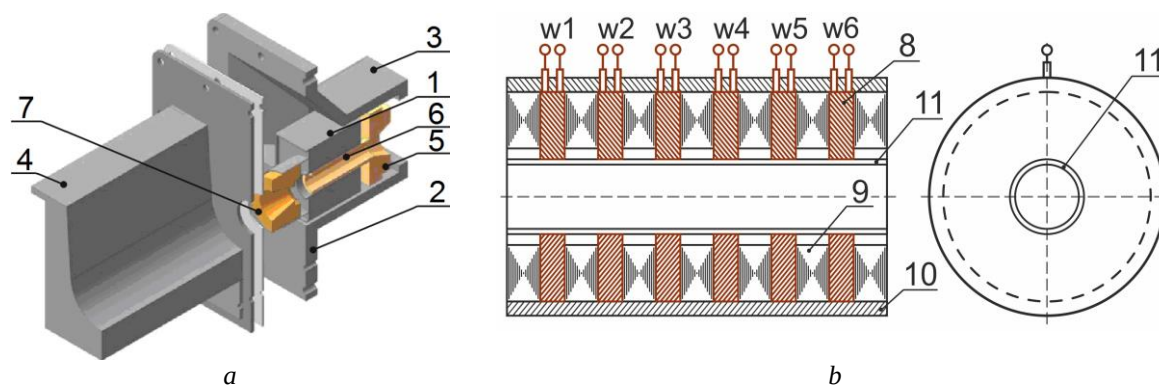


Fig. 1. Section of a compact MHD device

The work of the MHD machine, is as follows. Dosing melt is pumped through the insulating tube 6 through the channel. Alternating current of adjustable frequency in the windings of inductor 1 creates a run-

ning magnetic field in the heat-insulating tube 6. Induced eddy currents in the liquid metal, lead to the appearance of electromagnetic pressure. Depending on the direction of the traveling magnetic field, the pressure either counteracts the outflow of the melt from the

stationary furnace, or vice versa, contributes to the creation of the flow. Thus, the electromagnetic force of the inductor either reduces the flow rate of the melt, or accelerates it. Inductor 1 (Fig. 1, b) is made with a winding 8, assembled from six disk sections (six-zone winding) and located between steel cores 9, fixed inside the pipe 10 of the magnetic core. Inside the MHD device is a non-magnetic steel pipe with slit 11.

An example of one of the induction machine switching schemes is shown in fig. 2. The inductor of

the MHD device has six coil groups $w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6$ (fig. 1, b) which are designated by numbers 1 ÷ 6 (fig. 2). A modified image of the same device is shown in Fig. 3. According to the presented scheme, the induction machine coils are connected to a triangle or a star through a switching unit (BC) implemented on the controlled keys $s_{11}, s_{21}, s_{31}, s_{12}, s_{22}, s_{32}, s_{13}, s_{23}, s_{33}$. Both in the initial (Fig. 2) and in the modified scheme (Fig. 3) three switching options are implemented. The scheme of the triangle (Fig. 2) is quite obvious.

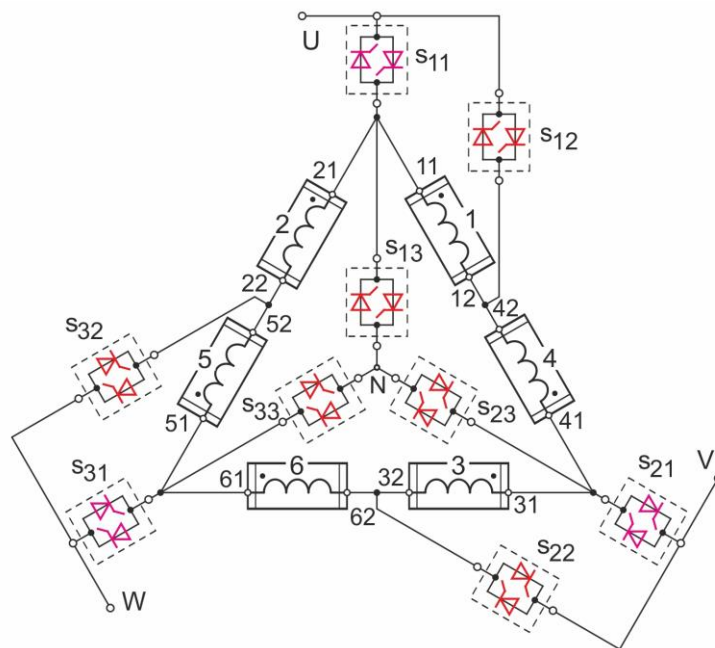


Fig. 2. The switching circuit of the MHD device when connecting by a triangle

By switching the windings of the same inductor, you can get a connection to a double star, as well as a single star with a reduced number of sections. For switching power supply circuits use electronic switches. The modified scheme (Fig. 3) for a triangle connection is implicit. However, the functionality of all elements of the scheme is preserved. The input voltage of the shop distribution network is initially designated by the letters A, B, C. The sections of the inductor w are numbered in the through sequence 1, 2, 3, 4, 5, 6 and arranged in order. The beginnings of all coil groups

are designated by the letters $i_1, i_2, i_3, i_4, i_5, i_6$ and marked with dots. The ends of the winding sections are designated by the letters $o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6$.

If necessary, in order to change the distribution of magnetic fluxes, an inversion can be introduced into the order of the alternation of contacts by performing the appropriate switching by jumper. The terminal contacts for the phase terminals of the frequency inverter (voltage regulator) are marked with the letters U, V, W and N.

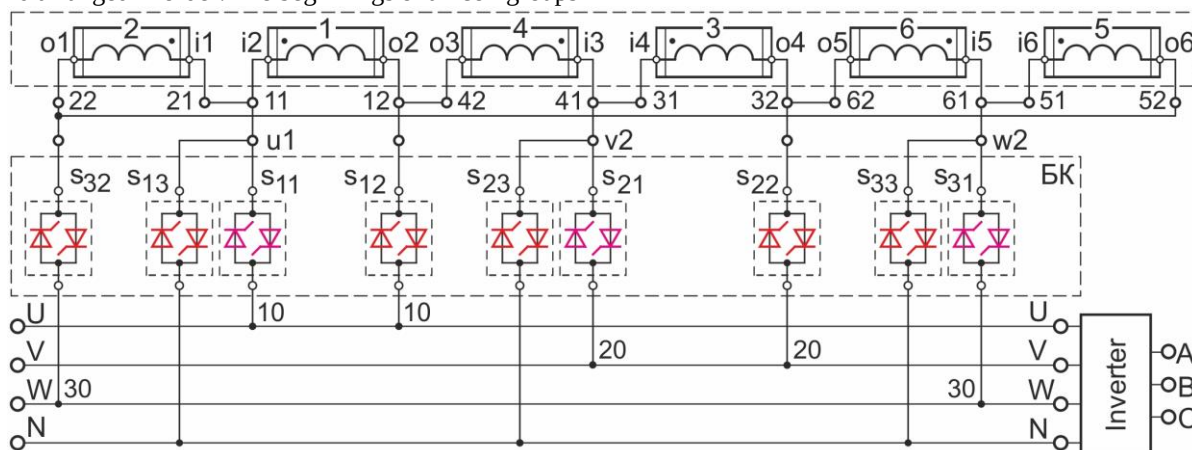


Fig. 3. MHD device in a triangle based on the switching unit

The order of controlling the switching of keys s_{ij} can be represented by a set of logical states for which expressions are written in a matrix form. This is convenient for programming digital control systems. Below is a general view of the matrix of logical states of the key management system.

$$[A] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix}.$$

The on state of the key corresponds to the value of the logical unit, the off state corresponds to the logical zero. Assigning a logical zero to the elements of the matrix leads to the translation of the key s_{ij} to the disabled state and makes a change in the technological process.

At the beginning of casting in a stationary furnace, the level of the melt is maximum and it is necessary to counteract the hydrostatic pressure of the melt in the furnace due to the maximum pressure [13]. This pressure is provided for an inductor with the following parameters: the number of phases $m = 3$, the number of pole pairs $2p = 4$, the number of winding groups $Z = 6$, the number of coils in the phase zone $q = 1$, the phase zone $\alpha = 120$.

In the triangle connection scheme, a phase sequence UWVUWV (ACBACB) and pole step τ_1 are provided, which is ensured by switching on the s_{11} , s_{21} , s_{31} switches and switching keys (s_{12} , s_{22} , s_{32} , s_{13} , s_{23} , s_{33}). The matrix of logical states in this case has the following form:

$$[\bar{A}_1] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

The electrical circuit of the inclusion of a three-phase induction machine with six coil groups (Fig. 2), similar to the scheme of Fig. 3 provides switching windings from a triangle to a double star. In this case, the keys s_{12} , s_{22} , s_{32} , s_{13} , s_{23} , s_{33} are enabled, and the keys s_{11} , s_{21} , s_{31} SU are disabled. In this case, the matrix of logical states of the key management system takes an inverse form:

$$[\bar{\bar{A}}_2] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & s_{13} \\ s_{21} & s_{22} & s_{23} \\ s_{31} & s_{32} & s_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Thus, a variant of the switching circuit of the windings of an induction MHD device is determined by the state of the electrical switches.

As the level of the melt decreases, the hydrostatic pressure of aluminum decreases [10, 13]. This requires a decrease in the head of the MHD pump, which can be weakened by decreasing the voltage of the power source. This decreases the current in the inductor coils and the linear load of current. In addition, the thermal power released in the liquid metal working body is reduced. The weakening of the action of the magnetic field of the inductor, accompanied by a decrease in the heating temperature. To maintain the required level of thermal power in the melt, at a certain moment, the MHD pump is switched to a circuit that forms other parameters of the inductor. The following combination is obtained: the number of phases $m = 3$, the number of pole pairs $2p = 2$, the number of winding groups $Z = 6$, the number of coils in the phase zone $q = 1$, the phase zone $\alpha = 60$.

The sequence of phase rotation UwVuWv (Az-BxCy) at the pole step τ_2 is provided by including the triac keys s_{12} , s_{22} , s_{32} , s_{13} , s_{23} , s_{33} SU in a star and the disabled keys s_{11} , s_{21} , s_{31} . In order to provide the necessary pressure, increase the linear current load [13 - 15], which leads to an increase in pressure. An increase in current is accompanied by an increase in the heat output in the liquid metal working body, which allows the melt to be heated to the required temperature.

The connection diagram of the inverter 3 to the induction machine 1 of the six-zone structure is shown in Fig. 4. In this embodiment, the number of combinations of the winding connection is large, so it is also advisable to use the switching unit 2, which, under the influence of the microcontroller, switches the windings from a star to a triangle or to a double star.

For a circuit in a triangle, with a similar AxYbCz connection to the transistor inverter, the equations are made according to Kirchhoff's laws:

$$\begin{aligned} \dot{I}_U + \dot{I}_C - \dot{I}_a &= 0, \quad \dot{I}_U = \dot{I}_a - \dot{I}_c, \\ \dot{I}_V + \dot{I}_b + \dot{I}_a &= 0, \quad \dot{I}_V = -\dot{I}_a - \dot{I}_b, \\ \dot{I}_W - \dot{I}_c - \dot{I}_b &= 0, \quad \dot{I}_W = \dot{I}_c + \dot{I}_b. \end{aligned} \quad (2)$$

According to topological equations, the construction of vector diagrams of operating parameters is carried out and a set of requirements for an inverter is determined for characteristic cases of asymmetry. Modes are important when currents and voltages may be in antiphase, and the inverter will go into recovery mode [12].

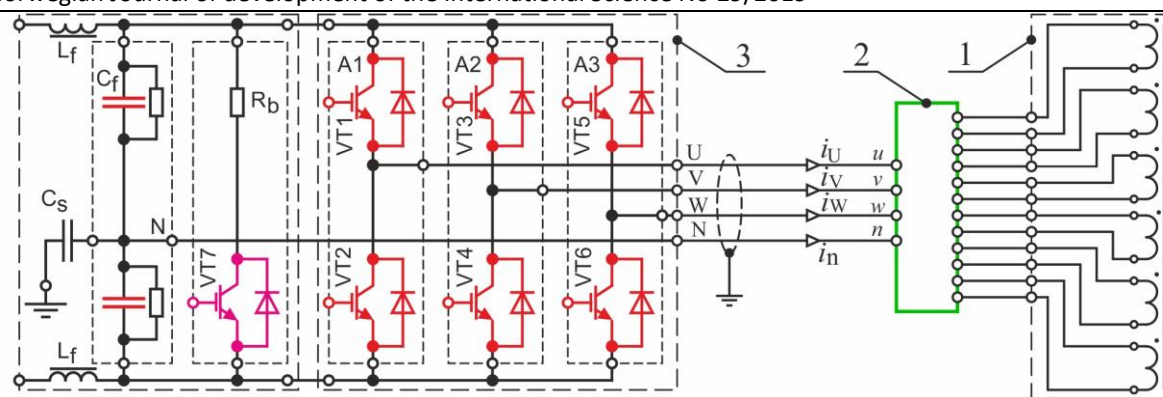


Fig. 4. Connecting an inverter to a six-zone induction machine

An idealized vector diagram of voltages and currents of a six-zone MHD device with parameters $m = 3$, $2p = 4$, $Z = 6$, $q = 1$, $\alpha = \pi / 3$ and the sequence of alternating phases AYCAYC is shown in Fig. 5.

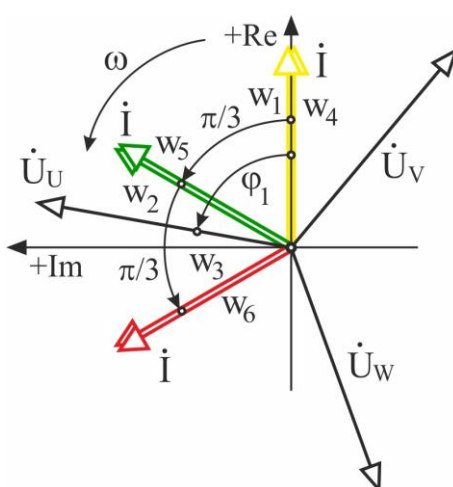


Fig. 5. Vector diagram of six-inductor currents

The phase shift φ_1 of the current of the first coil w_1 is adopted inductive, for the characteristic, extremely low values of the power factor of the induction machine. The vectors of the coils w_1, w_3, w_4, w_6 are obtained by direct switching on the coil groups. Vectors w_2, w_5 are obtained by inversion of the inclusion of the corresponding winding. Using vector diagrams, one can get a general idea of the distribution of magnetic poles and the nature of the phase alternation in the windings of an induction machine. However, in a real device, the switching circuit of the six windings 8 located between the cores 9 (Fig. 1, b) may be different. Its configuration is determined by the nature of the distribution of magnetic fluxes and the resulting ratio of the components of the traveling and pulsating magnetic field in the inductor.

Due to the use of an open magnetic core and the presence of edge effects, the real picture of the distribution of currents and magnetic fluxes in an induction

machine differs significantly from the idealized symmetric one. To estimate the distribution of magnetic fluxes, it is necessary to create and analyze a mathematical model in the form of a system of equations of magnetic equilibrium [14, 17]. However, the analysis of such a system of equations is extremely difficult, since, in addition to edge effects, the mutual inductance of the windings should be taken into account with finite values of the magnetic permeability of the pipe and the inductor cores. The saturation of the steel in turn depends on the currents in the windings.

Practice has shown that in such conditions, the result is easier to obtain using circuit simulation mode, taking into account the listed features. A fragment of the spatial model of a nonlinear multiphase magnetic circuit, intended for the evaluation of integral fluxes, is shown in fig. 6.

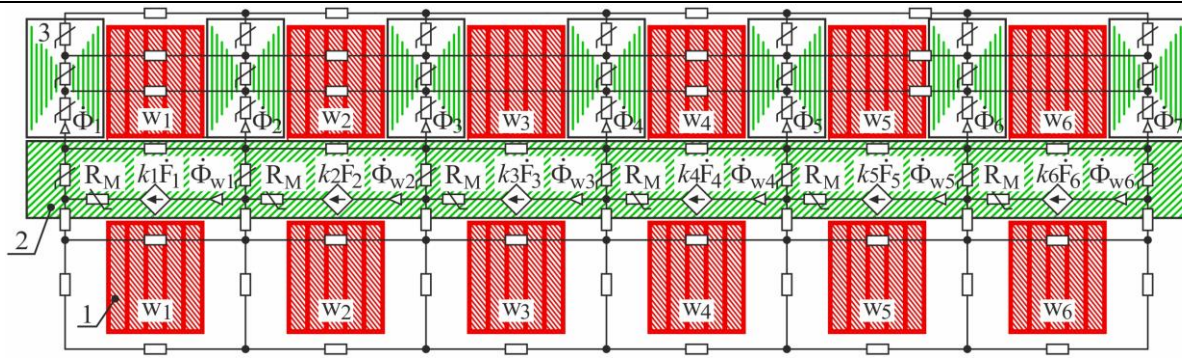


Fig. 6. Fragment of a model of a nonlinear magnetic inductor circuit

The model uses controlled sources of magnetomotive forces as magnetizing sources, the mode of which is given by an equivalent sinusoid on the set of harmonics depending on the degree of steel saturation [17]. Moreover, the equivalent vectors of the magnetizing forces of the windings w_2 and w_5 of phase B, for a double star circuit, are inverted by an angle π to obtain a phase shift $\alpha = \pi/3$, typical of the classical inclusion of windings with an inverted middle phase. The complexes of equivalent sinusoids of the magnetomotive forces of the phase W, are left unchanged, with the natural phase $+2\pi/3$ in direct sequence. Air gaps and metal melt in the model are represented by constant magnetic resistances, calculated from the actual geometry of the inductor, designed for small pumps with an air gap of 80-150 mm. The sections of the magnetic circuit are replaced by nonlinear resistances with a tabular description of magnetic weber-ampere characteristics.

The vector diagram of the magnetic fluxes in the cores of the induction machine, obtained from the six-

zone computational model, is shown in Fig. 7. The distribution of magnetic fluxes in the channel is shown in Fig. 8. On each diagram, a combination of flows with a system of magnetomotive winding forces is performed, in order to compare the obtained phase relations. The distribution of the magnetic field in the channel itself, directly in the region of the inducing coils, can be analyzed by another vector diagram (Fig. 8).

The obtained distribution of flows as a whole confirms the efficiency of the chosen scheme of the MHD device and its high tractive properties in such a configuration [17, p.345]. During the study, several winding switching circuits were tested, and for uniform distribution of phase shifts of magnetizing forces with an angle of $\pi/3$, the calculated values of the magnetic fluxes $\Phi_1 - \Phi_7$ turned out to be significantly less, and the nature of their distribution around the circumference turned out to be less uniform, which causes a greater influence of the components of the pulsating magnetic fields.

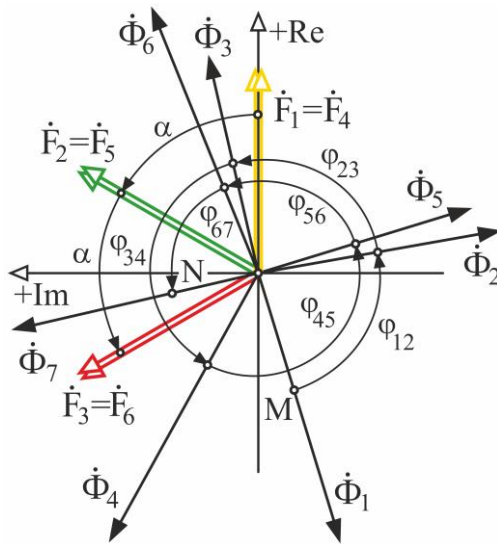


Fig. 7. Vector magnetic flux diagram of cores

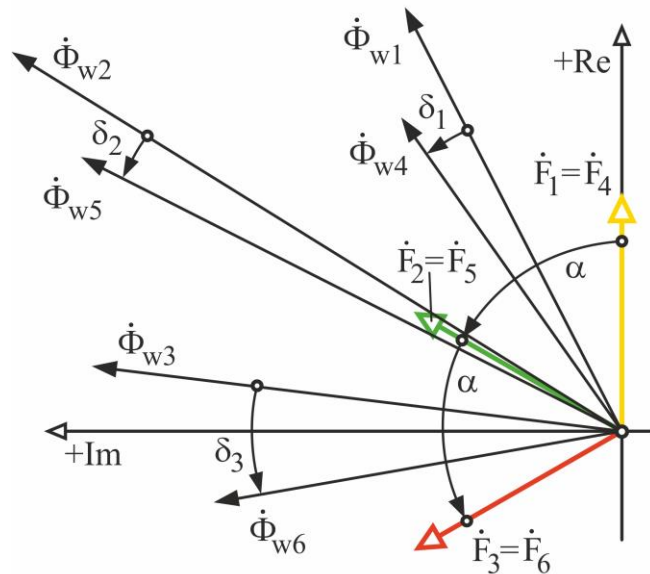


Fig. 8. The distribution of magnetic vectors of the flux in the channel

The experience of using various connection circuits for induction machine windings allows us to recommend the most efficient winding connection configurations, among which the AYCAVC scheme has clear

advantages for small-sized products, especially for a double star. In such a compound, it is easy to realize the traditional inverse inclusion of the second phase, which creates phase shifts α (Fig. 5) for the magnetomotive

forces of a binary star. At the same time, better results and a more uniform distribution of flows teeth around the circumference with smaller values of the pulsating magnetic field components gives the condition $F_2 = F_5 \gg F_1 = F_4$ and $F_2 = F_5 \gg F_3 = F_6$. In practice, this means a greater number of turns in the middle windings of each star.

Another way to control the uniform distribution of magnetic flux is to control the frequency inverter mode [6, 11]. Judging by the vector diagram, it is the increase in the currents of the middle sections of the inductor (or the number of turns) affects the dynamics of the phase relationships of the fluxes in the cores of the induction MHD machine. Analysis of changes in phase shifts of magnetic fluxes $\Phi_1, \Phi_2, \Phi_3, \Phi_4, \Phi_5, \Phi_6, \Phi_7$ according to the diagram (Fig. 7) is convenient to start from point M, counterclockwise. Folding the phase shifts $\varphi_{1-2}, \varphi_{2-3}, \varphi_{3-4}, \varphi_{4-5}, \varphi_{5-6}, \varphi_{6-7}$ in two incomplete turns, it is easy to confirm that the total angle of coverage of the melt in the channel approaches 700 degrees.

The vectors Φ_{w1} and Φ_{w4} , Φ_{w2} and Φ_{w5} , Φ_{w3} and Φ_{w6} turned out to be grouped in pairs, due to the same magnetizing forces of the windings of the same name and much larger. In this case, the phase shift δ between closely located vectors of the same name is not the same. In addition, the vectors for magnetic fluxes in the extreme inducer coils are shifted closer to the center due to the presence of edge effects. The calculation showed a more than threefold increase in the intensity of the magnetic field of each coil in the channel, and given the proximity of adjacent vectors, the increase turns out to be almost sixfold.

The results of the calculation of currents and magnetic fluxes (Fig. 7, 8) for the steady state of a multiphase nonlinear magnetic circuit with lumped parameters [17] show that the double star provides a combination of phase shifts characteristic of a four-pole induction machine $2p = 4$. Although, judging by the diagram, due to the presence of edge effects in the shortened machine, it turned out that the sum of the phase shifts of the magnetic fluxes of the teeth is somewhat less than 4π .

Conclusion. The proposed MHD devices can be used to create technologies for electromagnetic effects on the aluminum melt. The use of a controlled switching unit ensures the switching of the windings of the inductors, with a change in the tractive characteristics due to a change in polarity.

By switching a triangle to a star or by switching a star, one creates the necessary scheme suitable for flexible control of pumping, metering or mixing the melt. The study showed that the correct choice of the connection scheme and phase inversion allows for a continuous circular raster of flows in the cores. In an external magnetic circuit, the field is characterized by the sum of the fluxes of the cores and becomes the field of stray.

With any distribution of magnetic fluxes over the cores, the intensity of the magnetic field in the channel is higher than in the cores, creating the required tractive effort in the melt. This can be considered an advantage of the proposed MHD machines, since the magnetic induction of leakage fluxes in steel does not reach extreme values and does not cause premature saturation.

REFERENCES:

1. Semenichev Yu. N., Vozmilov V. M. *Doziruyushchee ustroystvo dlya zhidkogo metalla* [Dosing device for liquid metal]. Patent USSR, no. 1770047, 1989.
2. Verte L. A. *Sposob peremeshcheniya zhidkogo metalla* [Method of moving liquid metal]. Patent USSR, no. 113696, 1948.
3. Verte L. A. *Sposob dozirovaniya zhidkogo metalla* [Method of dispensing liquid metal]. Patent USSR, no. 113697, 1948.
4. US Patent, № 9901978B2. Metod and apparatus for moving molten metal. Pavlov Evgeny, Ivanov Dmitry, Gassanov Pavel, Gulayev Andrew. Feb. 27, 2018.
5. Tyapin A. A. Inductors for electromagnetic stirrers // *Znanstvena Misel Journal*. 2018. No. 19, Vol. 1. P. 64–67.
6. Chaplygin E.E. [Asymmetrical modes of a three-phase converter with power factor correction]. *Electricity*. 2005. № 9. P. 55–62. (in Russ.)
7. Tyapin A. A., Andrushchenko V. Yu., Goremykin V. A., Kinev E.S. [Estimation of the penetration depth of an electromagnetic wave into molten aluminum]. *Otsenka glubiny proniknoveniya elektromagnitnoy volny v rasplavlennyy alyuminiy*. Collection of articles of the XV International Scientific Practical Conference "Innovative scientific research: theory, methodology, practice." Penza: Science and Enlightenment. 2018. pp. 27–34. ISBN 978-5-907135-01-7. (in Russ.)
8. Kim, H.R. A design and characteristic experiment of the small annular linear induction electromagnetic pump / Hee Reyoung Kim, Yong Bum Lee // *Annals of Nuclear Energy*. 2011, V38. – pp. 1046–1052.
9. Krumin', Yu. K. *Osnovy teorii i rascheta ustroystv s begushchim magnitnym polem* [Bases of the theory and calculation of devices with the running magnetic field]. Riga. Zinatne Publishing House, 1983. 278 p. (in Russ.)
10. Tyapin, A. A. The structure of electromagnetic stirrers // *Znanstvena Misel Journal*. 2018. No. 20, Vol. 1. P. 50–57.
11. Mapelli, C. Application of electromagnetic stirring for the homogenization of aluminium billet cast in a semi-continuous machine / C. Mapelli, A. Gruttaduria, M. Peroni // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2010, V210. – pp. 306–314.
12. Golovenko E. A., Goremykin V. A. [Technology of electromagnetic impact on aluminum fusion in mixers and furnaces]. *Tsvetnye metally*. [Non-ferrous metals], 2014, no. 2 (854), pp. 86–92. (in Russ.)
13. Baranov G.A., Glukhikh V.A., Kirillov I. R. *Raschet i projektirovanie induktsionnykh MGD-mashin s zhidkometallicheskim rabochim telom* [Calculation and design induction the MHD machines with a working body from liquid metal]. Moscow: Atomizdat, 1978. 248 p. (in Russ.)
14. Hamzehbahmani, H. Modeling and simulating of single side short stator linear induction motor with the end effect. - *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 62, No. 5, 2011, pp. 302–308.

15. Pucci, M. Direct field oriented control of linear induction motors / Marcello Pucci // Electric Power Systems Research. – 2012, V89. – pp. 11–22.

16. Kinev E. S., Tyapin A. A., Yefimov S.N. [Assessment of the asymmetry of the induction machine with the parameters of symmetrical components] Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2018. T. 14, No. 6, pp. 68-79. (in Russ.)

17. Sarapulov, F. N., Sarapulov S. F., Shymchak P. *Matematicheskie modeli lineynykh induktsionnykh mashin na osnove skhem zameshcheniya* [Mathematical models of linear induction machines on the basis of equivalent circuits]. Yekaterinburg: Public Educational Institution of Higher Professional Training UGTU-UI. 2005. 431 p. (in Russ.)

DISTRIBUTION OF TELEPHONE LOAD IN THE NETWORKS OF OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL COMMUNICATION OF JSC "UZBEKISTAN RAILWAYS"

Khalikov A.,

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automation, Remote Control and Telecommunication Technologies in Railway Transport Tashkent Institute of Railway Engineers

Urakov O.

The applicant of the department "Automation, Remote Control and Telecommunication Technologies for Railway Transport"

Tashkent Institute of Railway Engineers

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕЛЕФОННОЙ НАГРУЗКИ В СЕТЯХ ОПЕРАТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ АО «УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ»

Халиков А.

Д.т.н., профессор зав.кафедрой «Автоматика, телемеханика и телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте»

Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта

Ураков О.

Соискатель кафедры «Автоматика, телемеханика и телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте»

Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта

Abstract

The article discusses the main requirements for the network of operational and technological communication, as well as analyzes the efficiency of operation and the efficiency of dispatch communication based on the data of the Signaling and Communication Directorate of O'zbekiston Temir Yollari JSC.

Аннотация

В статье рассматриваются основные требования к сети оперативно-технологической связи, а также анализируются эффективность функционирования и оперативность диспетчерской связи на основании данных Управления сигнализации и связи АО «Узбекистон темир йуллари».

Keywords: operational and technological communication, types of communication, software, switching.

Ключевые слова: оперативно-технологическая связь, виды связи, программное обеспечение, коммуникация.

Введение

На железнодорожном транспорте обеспечение безопасности и надежности перевозочного процесса заключается важнейшим критерием рыночной экономики. Одним из главных направлений удовлетворения требований в управлении процессами перевозками является усовершенствование систем и средств обеспечения качественных телекоммуникаций.

Наиболее сильное влияние на эффективность и безопасность перевозочного процесса оказывает качество систем коммуникаций акционерного общества «Узбекистон темир йуллари» (АО «УТЙ»), которое на сегодняшний день выполняет около 40 % грузо и более 70 % пассажирских перевозок республики [1, официальный сайт. – URL.: <http://railway.uz/ru>].

От четкой и надежной работы устройств связи во многом зависит эффективная работа железнодорожного транспорта, при помощи которых осуществляется оперативное управление грузо-перевозочным процессом на железной дороге и их взаимосвязь с отдельными подразделениями.

Качество перевозочного процесса на железнодорожном транспорте обусловлено своевременностью, безопасностью и надежностью отправления грузов и пассажиров к месту назначения. Эти показатели в основном зависят от успешности взаимодействия и функционирования подразделений и всех хозяйств, непосредственно участвующих в организации перевозочного процесса и эксплуатации подвижного состава.

В соответствии с потребностями системы управления железнодорожного транспорта все необходимые задачи и качество связи определяют с

учетом усовершенствования техники связи и расширения перечня услуг для возможности предоставления абонентам.

1. Основные требования, предъявляемые к оперативно-технологической связи

Многочисленность и территориальная расположенность объектов и подразделений, а также тесная взаимосвязь в работе при непрерывном производственном процессе во времени, являются основными требованиями перевозочного процесса на железнодорожном транспорте [2, с.120]. В обеспечении безопасности движения принимают участие работники различных специальностей, введении которых находятся: железнодорожный путь, подвижной состав (локомотивы, вагоны), устройства автоматики и телемеханики, искусственные сооружения, энергетические устройства, информационно-вычислительные центры и т.д. Соблюдение выполнения графика движения поездов [3, с.120; 4, с.91; 5, с.27], обеспечение безопасности движения, оперативная разработка мер и регулирование парка вагонов и локомотивов, минимальные сроки доставки грузов и пассажиров требуют от всех компонентов многоотраслевого железнодорожного хозяйства.

Для предоставления взаимосвязи и надежной работы названных элементов управления железнодорожным транспортом создана технологическая сеть связи (далее сеть связи железнодорожного транспорта).

Сеть связи железнодорожного транспорта Республики Узбекистан – это совокупность первичных и вторичных сетей для обеспечения организаций, предприятий и структурных подразделений железнодорожной компании связью, в соответствии с Правилами технической эксплуатации АО «УТЙ» [7, с.222; 8, с.118; 9, с.43].

Основные требования оперативно-технологической связи (ОТС):

- организация системы ОТС должна быть независимой от других видов связи, а также представлять собой технологическую сеть, не имеющую выходов в сети связи общего пользования;

- возможность индивидуального, группового и циркулярного вызовов;

– прием вызывного сигнала осуществляется специальными устройствами, предоставляющими избирательность приема вызова, потому что каждому аппарату, включаемому в групповой канал, присваивается свой вызывной сигнал;

- система ОТС должна иметь возможность гибкой адаптации к изменяющимся ситуациям в системе управления железнодорожным транспортом.

Вышеуказанные требования ОТС должны выполняться как при строительстве новых сетей, так и при модернизации существующих сетей ОТС.

2. Оценка качества передачи информации оперативно-технологической связи

При разработке систем ОТС обычно считается, что фразовая разборчивость должна быть с вероятностью не меньше 0,9 [6, с.119]. На рис.1. представлена схема модели процесса передачи информации адресату при предложении, что основным параметром, характеризующим этот процесс, является общее время доставки информации:

$$T = T_{II} + T_{II} \quad (1)$$

где T_{II} – время передачи информации;

T_{II} – потери времени в процессе доставки, которые образуются во всех элементах модели.

В виде совокупности каждый элемент модели определить количественных соотношений, позволяющих различные показатели, устанавливающие те или другие стороны процесса передачи.

При ограничении надежности устройств ОТС в процессе их функционирования возникают отказы, нарушающие действие связи или снижающие ее качество, что приводит к дополнительным затратам времени при передаче информации, т.е. увеличение длительности передачи информации из-за недостаточной надежности и качества связи.



Рис. 1. Схема модели процесса передачи информации по каналам ОТС

Рассмотрим выполнение сетью оперативно-технологической связи своих функций, т.е. на вход сети постоянно в течение неограниченно длительного времени поступают различные информации. Каждая из них требует для своей передачи определенного времени T_{II} , а также задерживается в сети на какое-то непроизводительное время T_{III} из-за недостаточности эффективности ее работы.

Математическое ожидание эффективности функционирования сети ОТС характеризует как случайной величины:

$$E = \sum_{i=0}^{m-1} P_i \frac{T_{IIi}}{T_{IIi} + T_{IIIi}} \quad (2)$$

где m – число возможных состояний сети;

T_{IIi} и T_{IIIi} – полезное время передачи информации и непроизводительные затраты времени i -м состоянии;

P_i – вероятность i -го состояния.

Наиболее вероятное состояние сети ОТС определяет значение E , и чем больше это значение, тем меньше непроизводительные затраты времени.

При $E = 1$ непроизводительные затраты времени равны нулю во всех состояниях сети ОТС ($T_{III} = 0$, $P_i = 1$) и сеть абсолютно эффективна.

При $E = 0$ передачи информации во всех сетях ОТС не происходит ($T_{II} = 0$ или $T_{II} \rightarrow \infty$, $P_i = 1$).

Соотношение (2) может быть принято за основную характеристику эффективности функцио-

нирования сети ОТС в тех случаях, когда ничего неизвестно о требуемых сроках передачи информации, т.е. если время передачи информации не накладывается каких-либо ограничений. Между тем, в определенных ситуациях задержка передачи информации сверх задаваемого системой управления срока может привести к непоправимым отрицательным последствиям для железнодорожного транспорта.

Оперативно-технологическая связь должна обеспечить оперативностью, требуемого качества связи, позволяющие своевременно выполнить задачи или принятие управленческих решений. Основным видом ОТС на железнодорожном транспорте является поездная диспетчерская связь для руководства движением поездов, а также служит для переговоров поездного диспетчерского с отдельными пунктами, входящими в обслуживаемый им участок по вопросам приема и отправления поездов.

В отличие эффективности функционирования оперативность диспетчерской связи определяется нагрузкой:

$$Q = \frac{1 + ny}{\sum_{k=0}^n \frac{n!}{(n-k)!} y^k} \quad (3)$$

где n – число промежуточных пунктов;

k – число вызовов в час наибольшей нагрузки (ЧНН);

y – нагрузка, создаваемая одним промежуточным пунктом в ЧНН, Эрл.

Нагрузка, создаваемая одним промежуточным пунктом в ЧНН, $y = \lambda T_u$ (где λ – интенсивность потока вызовов, создаваемого в ЧНН одним промежуточным пунктом).

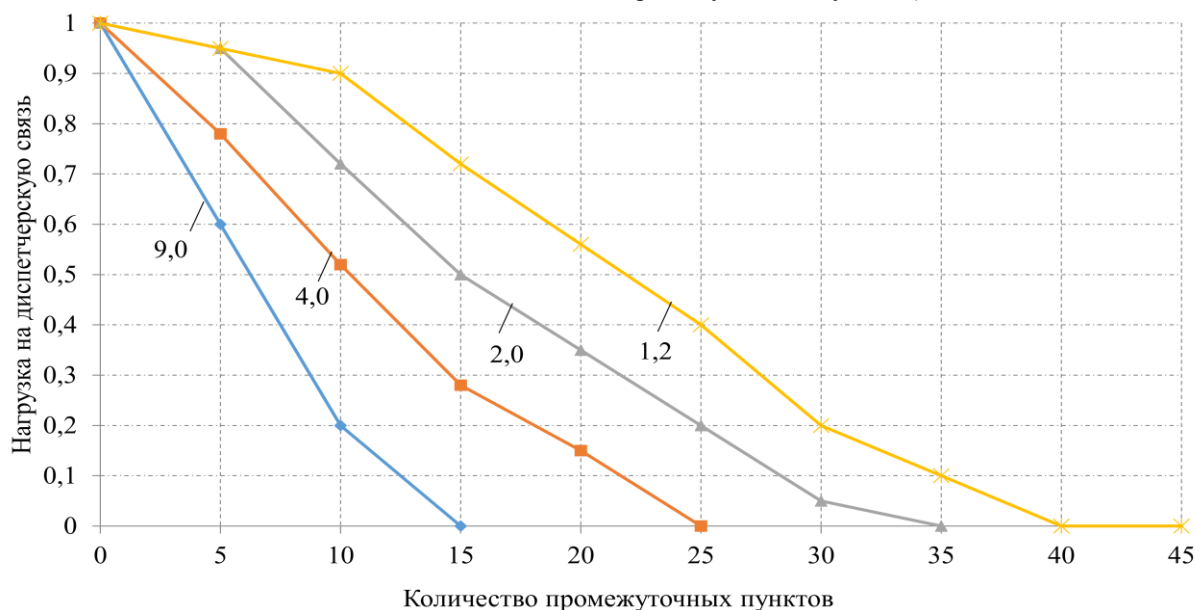


Рис. 2. Зависимость нагрузки на диспетчерскую связь от числа промежуточных пунктов при разных значениях нагрузки

Например, если нагрузка составляет 1 минуту-занятие в ЧНН и требуемая оперативность Q должна быть не ниже 0,6, то по графику рис.2 определяем, что в такую сеть можно включить не более 40 промежуточных пунктов. Отличие в расчете модели при передаче от промежуточного пункта к диспетчеру при принятых допущениях, не будет.

Заключение

Методика расчета эффективности функционирования (E) показывает, что чем больше эта величина, тем меньше непроизводительные затраты времени. Оперативность диспетчерской связи (Q) т.е. зависимость нагрузки от количества промежуточных пунктов показывает, что чем больше количества промежуточных пунктов, тем ниже нагрузка на диспетчерскую связь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Узбекские железные дороги: официальный сайт. – URL.: <http://railway.uz/ru> (дата обращения 12.02.2019 г.).
2. Оперативно-технологическая телефонная связь на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов железнодорожного транспорта / Ю.В. Юркин, А.К. Лебединский, В.А. Прокофьев, И.Д. Блиндер; По ред. Ю.В. Юркина. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 264 с.
3. Станционная и поездная радиосвязь. Халиков А.А, Кривошипин В.В.
/ Учебное пособие. “Янги аср авлоди”. Ташкент-2007. – С. 308.

4. Халиков А.А, Ураков О.Х. Внедрение модернизированных устройств для оперативно-технологической связи на железнодорожном участке Ангрен-Поп. //Мухаммад Ал-Хоразмий авлодлари. Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал №3(5). 2018. –С. 89-94.

5. Халиков А.А, Ураков О.Х. Существующие проблемы и перспективы развития поездной радиосвязи в железнодорожном тоннеле «Камчик». //Материалы в сборнике трудов конференции серии: «International scientific review». (Boston. USA. №11(53). November. - С. 24-28, 2018.

6. Халиков А.А, Ураков О.Х. Проблемы и перспективы развития поездной радиосвязи в железнодорожном тоннеле «Камчик». //Вестник научных конференций 2018. N 10-4(38) – С118-119. Наука и образование в XXI веке. По материалам международной научно-практической конференции 31 октября 2018 г. Часть 4.

7. Khalikov A.A., Urakov O.H. The tasks of organizing and managing the integrated digital network of operational and technological communication based on PIC-D devices at the Angren-Pap railway sections. //Journal "European science review" № 9-10. 2018. September-October. Volume 1. pp. 220-227.

8. Khalikov A.A., Mirsagdiev O.A. Models of service calls in the railway networks. //European science review. № 9-10. 2017. September-October. Vienna-Prague. 2017. 116-120.

9. Халиков А.А, Ураков О.Х. Темир йўл транспортида интеграллашган технологик алоқа тармоғини ташкил этиш. //Мухаммад Ал-Хоразмий авлодлари. Илмий-амалий ва ахборот-таҳлилий журнал №2(2)/2017.–С.42-45.

THE EXPERIMENTAL ESTIMATION OF THE PARAMETERS OF THE VERTICAL-AXIAL WINDMILL ELECTRIC GENERATING UNIT FOR THE SELF-GENERATED POWER SUPPLY OF THE OBJECTS BY LAND AND BY SEA

Shishkin N.,

Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Ilyin R.

Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРОВ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВЫХ ВЕТРОЭНЕРГООУСТАНОВОК ДЛЯ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ НА СУШЕ И НА МОРЕ

Шишкин Н.Д.,

Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН.

Ильин Р.А.

Лаборатория нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН.

Abstract

For the first time the experimental investigation was carried out in the wind tunnel installation to evaluate the influence of the zigzag-shaped wing flaps on the work of the H-Darrieus and circular rotors. It is determined that the rotation frequency of the H-Darrieus rotor increases at the average rate of 19 percent in the presence of these wing flaps, and the rotation frequency of the circular rotor increases at the average rate of 31 per cent in this case. It will lead to the increase of the power factor. The optimization of the geometrical parameters and the improvement of the blade construction may lead to the increase of the power factor of the H-Darrieus rotor to the point of

0,72, exceeding the maximum possible point 0,45 for the horizontal axial wind-mill electric generating unit. It is appropriate to change over to the single-stage construction of the H-Darrieus rotor with the cross members only at the bottom to connect the rotor to the shaft of the electric power generator and the thin plain bandage for fastening the blades with the wing flaps in the upper part of the rotor. It is practicable to aggregate the H-Darrieus rotors with the Savonius rotors for activating the rotor at the far less rotation speeds. Such a combined rotor can be used in the systems of electric power supply and heating of different objects by land and by sea.

Аннотация

Впервые выполнены экспериментальные исследования оригинальных роторов Н-Дарье и Савониуса оптимальной геометрии, имеющих закрылки с треугольными элементами. Установлено, что частота вращения и коэффициент мощности этих роторов Н-Дарье и Савониуса больше на 18 %. Оптимизация геометрических параметров лопастей может привести к увеличению коэффициента мощности ротора Н-Дарье до значения 0,72, превышающего максимально возможное значение 0,45 для ГО ВЭУ. Применение оптимальных геометрических соотношений параметров, таких как отношение высоты лопасти и диаметра ротора, отношение расстояния от оси вала до края лопасти к радиусу лопасти ротора Савониуса и закрылков в форме треугольных зигзагов позволит достичь максимально возможного значения коэффициента мощности 0,32. Модернизированные роторы Н-Дарье и Савониуса, а также комбинированные роторы на их основе могут быть использованы в системах энергоснабжения различных объектов на суше и на море.

Keywords: vertical-axial wind turbine, H-Darrieus rotor, Savonius rotor, mechanical heat generator, autonomous electric supply, autonomous heat supply.

Ключевые слова: вертикально-осевая ветроэнергостановка, ротор Н-Дарье, ротор Савониуса, автономное энергоснабжение

1. Введение

В настоящее время все более широкое применение находят системы энергоснабжения с использованием ветроэнергостановок (ВЭУ) [1-4]. Кроме горизонтально-осевых ветроэнергостановок (ГО ВЭУ) стали применяться и вертикально-осевые ветроэнергостановки (ВО ВЭУ). Главное преимущество ВО ВЭУ перед ГО ВЭУ в том, что работа этих установок не зависит от направления ветра, что позволяет существенно повысить их эффективность. Это делает ВО ВЭУ идеальными источниками малой мощности для потребителей электрической и тепловой энергии малоэтажных зданий, фермерских хозяйств, туристических, промысловых и других объектов, удаленных от централизованных систем водоснабжения, электроснабжения, теплоснабжения и газоснабжения.

Чаще всего используются ВО ВЭУ на основе ротора Н-Дарье (ротора Эванса) с вертикальными лопастями крылового профиля и ротора Савониуса с вертикальными полуцилиндрическими лопастями [5-19]. Преимуществом роторов Н-Дарье является их быстроходность, а недостатком, невозможность самозапуска из-за малого пускового момента. Преимуществом ротора Савониуса является возможность их самозапуска из-за большого пускового момента, а недостатком малая скорость вращения.

Вращение роторов Н-Дарье, как и роторов ГО ВЭУ, по мнению большинства авторов осуществляется за счет подъемной силы, возникающей в крыловом профиле лопасти, а вращение ротора Савониуса осуществляется за счет разности сил лобового сопротивления, действующих на лопасти, расположенные по разным сторонам от оси ротора [5-12]. Однако, ряд авторов [13-16] считает, что

подъемная сила возникает лишь на небольшой части круговой траектории крыловой лопасти, а на большей части траектории происходит обтекание лопасти пульсирующим потоком, аналогичным тому который возникает при взаимодействии горизонтального потока воздуха с машущим крылом птиц.

Авторы статьи полагают, что для повышения энергетической эффективности за счет уменьшения потерь от больших вихрей, образующихся на концах лопастей крылового профиля ротора Н-Дарье, а также на концах полуцилиндрических лопастей ротора Савониуса можно использовать концевые элементы лопастей (закрылки) различной формы, подобные крыльям птиц. Все крылья имеют на задней части треугольные, скругленные или прямоугольные окончания [17]. По-видимому, за счет длительной эволюции появились такие крылья, позволяющие за счет совершенной аэродинамики снизить расходы энергии на полет, как при подъеме за счет взмахов крыльев, так и за счет парения во встречном потоке. Этот опыт авторы предлагают распространить и на схожие технические объекты, такие как лопасти ротора Н-Дарье и ротора Савониуса.

2. Анализ параметров роторов Дарье и Савониуса

Рассмотрим энергетические параметры роторов Дарье и Савониуса, которые зависят от большого числа геометрических и кинематических параметров ротора и воздушного потока и на их основе определим энергетические параметры ВО ВЭУ [12-14]. Основные геометрические параметры трехлопастного ротора Н-Дарье с прямыми лопастями показаны на рис. 1.

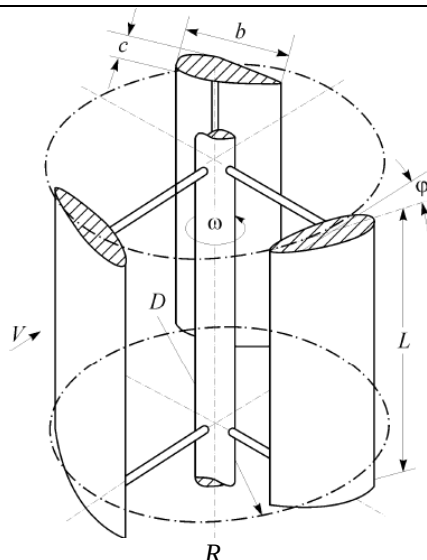


Рис 1. Ротор Н-Дарье

Здесь L , b , c - длина, хорда и максимальная толщина лопасти, R - радиус ротора, φ - угол установки лопасти, ω - угловая скорость вращения ротора, V - скорость ветрового потока. Безразмерными параметрами являются: $z = \omega R/V$ - коэффициент быстроходности ротора, $\lambda = L/b$ удлинение лопасти, $c = c/b$ относительная толщина лопасти, σ коэффициент заполнения (затенения) сечения. В результате исследований «идеального ротора Н-Дарье», имеющего только лопасти и не имеющего траверс, создающих дополнительное сопротивление и вихревые потоки, препятствующие работе лопастей было получено значение $C_p = 0,72$

[13-15]. Это выше предельного значения $C_p = 0,59$ для идеального ротора ГО ВЭУ. Однако эти результаты требовали проверки, т. к. они были получены в гидравлическом лотке в условиях, отличающихся от тех, которые наблюдаются в реальных условиях эксплуатации ВО ВЭУ. В аэродинамических трубах и гидравлических лотках в ряде случаев имеет место фактическое повышение скорости потока в поперечном сечении ротора, что может привести к значительному повышению коэффициента мощности.

На рис. 2 изображен двухъярусный ротор Савониуса.

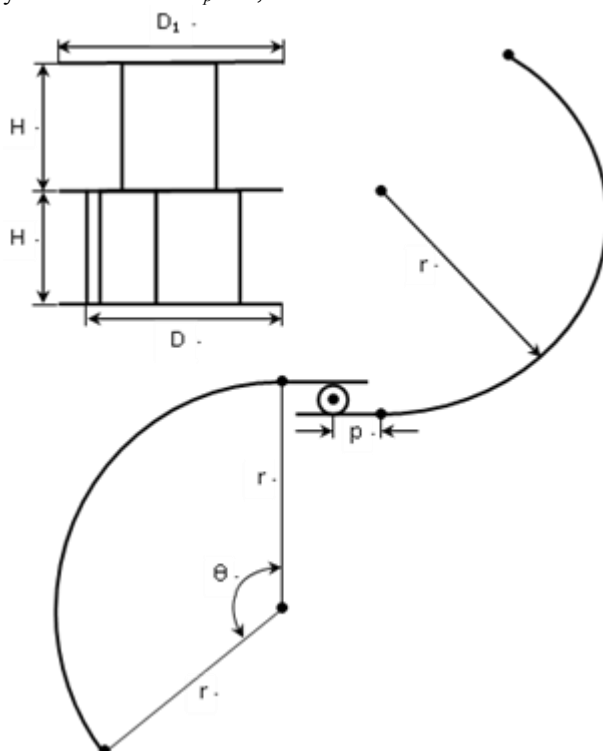


Рис 2. Двухъярусный ротор Савониуса

Экспериментальному исследованию двухъярусного ротора Савониуса посвящено много работ [12, 15, 18, 22]. Экспериментальные исследования, проведенные в аэро-динамической трубе [22], показали, что с увеличением коэффициента загромождения потока σ с 5% до 20 % происходит увеличение коэффициента мощности в 2 раза. При этом максимум C_p достигается при более высоком коэффициенте быстроходности Z . Автор работы [18] делает вывод, что оптимальный ротор Савониуса должен иметь следующие значения своих геометрических параметров: $H/D = 0,77$, $p/R = 0,20$, $\theta = 135^\circ$, $D/D_1 = 0,75$. Однако, эксперименты, выполненные в гидробассейне при практически отсутствующем влиянии границ потока показали, что для ротора Савониуса с размерами $R = 0,068$ м, $p = 0,015$ м ($p/R = 0,22$), $H = 0,175$ м, $D = 0,26$ м ($H/D = 0,77$) и $\theta = 135^\circ$ [15], близкими к рекомендованным значениям [18], максимальное значение коэффициента мощности достигается при коэффициенте быстроходности $Z = 0,65$ и составляет $C_p = 0,20$.

Таким образом, представлялось целесообразным испытать роторы Н-Дарье и Савониуса оптимальной геометрии в неограниченном воздушном потоке. Такой поток, может быть в первом приближении смоделирован потоком воздуха от вентилятора с колесом достаточно большого диаметра в 1,5-2,0 раза большем диаметра ротора. Кроме того, необходимо оценить влияние закрылков в форме треугольных зигзагов на параметры роторов Н-Дарье и Савониуса, в частности на частоту вращения вала n и на коэффициент мощности C_p .



а



б

Рис. 3. Общий вид экспериментальной лабораторной установки:

а) с ротором Н-Дарье, имеющим лопасти с закрылками;

б) с ротором Савониуса, имеющим лопасти с закрылками

На рис. 3а показан общий вид лабораторной установки с ротором Н-Дарье диаметром $D_D = 0,300$ м с тремя лопастями с шириной профиля $b_D = 0,100$ м высотой H_D толщиной профиля $\delta_D = 0,012$ м. Лопасти имеют закрылки с треугольными элементами высотой 0,010 м. На рис. 3б показан общий вид лабораторной установки для исследования параметров двухъярусного ротора Савониуса оптимальной геометрии диаметром $D = 0,185$ м. 4 полуцилиндрические лопасти диаметром $D_L = 0,100$ м имеют угол раскрытия $\theta = 135^\circ$, высоту $H = 0,140$ м и при-

Целью работы является разработка усовершенствованных ВО ВЭУ на основе экспериментального исследования их энергетической эффективности. Основными задачами работы являются: экспериментальное исследование и анализ энергетической эффективности роторов Н-Дарье и Савониуса при применении лопастей, имеющих закрылки с элементами треугольной формы, а также разработка рекомендаций по совершенствованию их конструкций и применению для энергоснабжения различных объектов.

3. Методика проведения экспериментов

В Лаборатории нетрадиционной энергетики Отдела энергетических проблем Саратовского научного центра РАН при Астраханском государственном техническом университете была разработана лабораторная установка для экспериментального исследования эффективности роторов ВО ВЭУ различных типов [19-21]. Экспериментальная установка авторов имеет источником воздушного потока вентилятор, который направляет свободную струю воздуха, имитирующую ветер на ротор. Поэтому полученные результаты представляются достаточно надежными для всех рассматриваемых роторов Н-Дарье и Савониуса.

Общий вид экспериментальной лабораторной установки с роторами Н-Дарье и Савониуса с закрылками показаны на рис. 3.

крепляются к валу с помощью горизонтальных дисков диаметром $D = 0,246$ м. Лопасти имеют передние и задние образующие с треугольными элементами (закрылками) высотой 0,010 м.

Обработка результатов замеров проводилась по методике, приведенной в работе авторов статьи [20]. По результатам экспериментов были построены графики зависимости частоты вращения роторов Н-Дарье и Савониуса n от скорости ветра V , измеренные в диапазоне в диапазоне от 2 до 6 м/с, показанные на рис. 4.

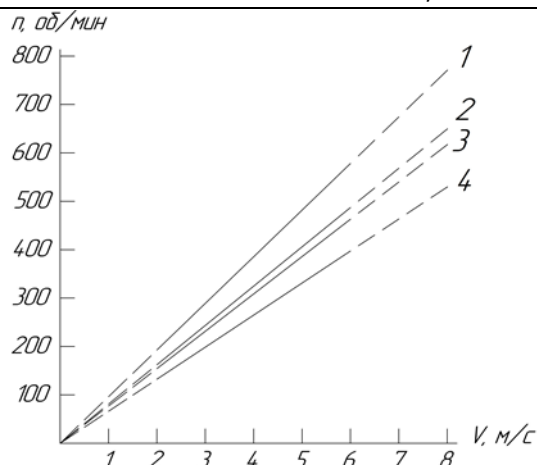


Рис. 4. Зависимости частоты вращения роторов Н-Дарье и Савониуса n от скорости ветра V

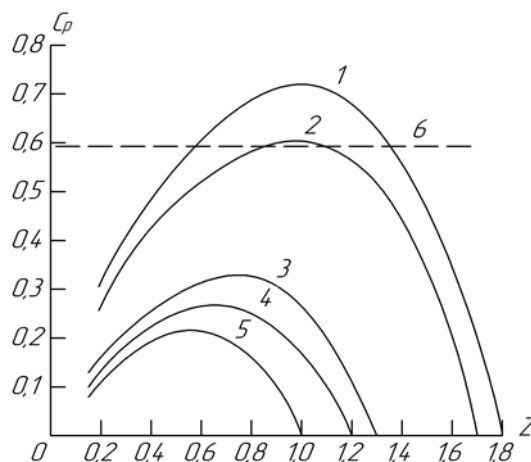


Рис. 5. Зависимости коэффициентов мощности роторов Н-Дарье и Савониуса C_p от коэффициента быстроходности Z

На рис. 5 показаны зависимости коэффициентов мощности роторов Н-Дарье и Савониуса от коэффициента быстроходности Z .

4. Обсуждение полученных результатов

Как видно из рис. 4 частота вращения оригинального ротора Н-Дарье, имеющего лопасти с закрылками (линия 1) больше частоты вращения ротора Н-Дарье известной конструкции (линия 2) на 18 %. Очевидно, что закрылки с треугольными элементами, снижают потери, возникающие за счет больших вихрей в задней части лопасти, разбивая их на множество мелких. Это и приводит к повышению частоты вращения ротора Н-Дарье. Частота вращения оригинального ротора Савониуса, имеющего лопасти с закрылками (линия 3) также больше частоты вращения ротора Савониуса известной конструкции (линия 2) на 18 %. Это объясняется тем, что зигзагообразные закрылки повышают силы лобового сопротивления, которые являются движущей силой в роторах Савониуса, а также снижают потери, возникающие за счет больших вихрей, разбивая их на множество мелких. Все это способствует повышению частоты вращения ротора Савониуса.

Как видно из рис. 5 все кривые коэффициентов мощности роторов C_p имеют ярко выраженный максимум при различных значениях Z , зависящих от конструкции ротора. Полученные максимальные

значения коэффициента мощности ротора Н-Дарье практически оптимальной конструкции, но с коэффициентом заполнения профиля $\sigma \approx 0,65$ при коэффициенте быстроходности $Z = 1,1$ составляет $C_p = 0,60$, а для ротора Н-Дарье, имеющего лопасти с закрылками $C_p = 0,70$. Эти значения превышают величину $C_p = 0,59$ для идеального ротора ГО ВЭУ (линия 6), недостижимую для реально эксплуатирующихся установок этого типа. Видно также, что коэффициент мощности ротора Н-Дарье, имеющего лопасти с закрылками (линия 1) больше чем у ротора ротора Н-Дарье известной конструкции (линия 2) на 18 %, на столько же насколько увеличивается частота вращения. Коэффициент мощности ротор C_p оригинального ротора Савониуса, имеющего лопасти с закрылками (линия 3) больше коэффициента мощности ротор C_p ротора Савониуса известной конструкции (линия 4) на 18 %, т.е. на столько же насколько увеличивается частота вращения. Полученные авторами максимальные значения C_p для ротора Савониуса оптимальной конструкции и оригинального ротора Савониуса с закрылками на лопастях составили $C_p = 0,27$ и $C_p = 0,32$ при коэффициентах быстроходности соответственно $Z = 0,70$ и $Z = 0,80$. Для сравнения на рисунке 4 приведена зависимость $C_p = f(Z)$ (кривая 6), полученная при исследовании ротора Савониуса в гидробассейне [15]. Максимальное значение коэффициента мощности в

этом случае достигается при коэффициенте быстроходности $Z = 0,65$ и составляет $C_p = 0,20$ (линия 5 на рисунке 4).

5. Рекомендации по совершенствованию конструкций и применению ВО ВЭУ

На эффективность работы ротора Н-Дарье оказывает сильное влияние такие элементы конструкции, как траверсы для крепления лопастей к валу ротора. В воздушном потоке на траверсы действуют силы сопротивления, которые снижают вращающий аэродинамический момент, создаваемый лопастями. Такая оценка была сделана в работе [15] при испытаниях модели 6-ти лопастного двухъярусного ротора Н-Дарье. Силы сопротивления при обтекании траверс оказались настолько велики, что привели к двухкратному снижению максимального значения полезной мощности и соответственно коэффициента мощности C_p , который снизился с 0,56 до 0,28, т.е. в 2 раза. Таким образом, при рациональном выборе конструкций системы крепления лопастей можно добиться существенного снижения потерь энергии вращающегося ротора Н-Дарье, увеличивая тем самым коэффициент мощности C_p , т.е. его энергетическую эффективность. Очень важной оказывается и роль угла установки лопастей крылового профиля. Ранее выполненные эксперименты авторов работы показали, что увеличение угла атаки лопастей с 0° до 4° привело к повышению скорости вращения ротора Н-Дарье в среднем на 17 % [19]. На коэффициент мощности ротора Н-Дарье C_p оказывает влияние и коэффициент заполнения профиля ротора σ . Этот коэффициент зависит от отношения длины хорды b крылового профиля к диаметру ротора D . Так, например, в экспериментальной установке [15] при увеличении b от 0,030 до 0,080 м, и постоянном диаметре ротора $D = 0,65$ м коэффициент заполнения σ возрастал от 0,15 до 0,40. Уменьшение коэффициента заполнения σ приводит к увеличению и смещению максимума коэффициента мощности C_p в сторону более высоких значений коэффициентов быстроходности [15]. Это можно объяснить тем, что увеличение коэффициента быстроходности приводит к подавлению формирования и срыву динамического потока с лопастей Н-Дарье, тем самым уменьшая потери и увеличивая энергетическую эффективность ВО ВЭУ на 5-18 %.

Применение оптимальных геометрических соотношений параметров, таких как отношение высоты лопастей и диаметра ротора $H/D = 0,77$, отношение расстояния от оси вала до края лопасти p к радиусу лопасти $p/r = 0,20$, центральный угол дуг окружностей $\theta = 135^\circ$ ротора Савониуса позволит достичь максимально возможного значения коэффициента мощности $C_p = 0,27$, а дополнительное применение закрылков с треугольными элементами достичь $C_p = 0,32$. Таким образом, полуцилиндрические лопасти ротора Савониуса с оптимальными геометрическими размерами целесообразно снабжать закрылками в форме треугольных зигзагов. Максимально возможное значение для ГО ВЭУ значение $C_p = 0,45$ достигается лишь при совпаде-

нии скорости ветра с осью вращения ротора. Наличие у них систем управления ориентацией на ветер снижает фактический коэффициент мощности до 0,25–0,35 [9, 16]. Поэтому предлагаемая авторами модернизированная конструкция ротора Савониуса с максимально возможным значением коэффициента мощности 0,32 может быть вполне конкурентоспособной с ГО ВЭУ.

Предлагаемые роторы Н-Дарье и Савониуса оптимальных геометрических параметров с закрылками на лопастях небольшой мощности смогут найти достаточно широкое применение для энергоснабжения автономных объектов на суше и на море. Более быстроходные роторы Н-Дарье целесообразно агрегировать с роторами Савониуса, имеющими достаточно большой пусковой момент. Поэтому запуск ротора Н-Дарье может быть осуществлен при гораздо меньших скоростях вращения. Такой комбинированный ротор может быть скомпонован с электрогенератором, а также с механическим теплогенератором и использован в системах электро- и теплоснабжения различных объектов: малоэтажных зданий, фермерских хозяйств, туристических комплексов и промышленных объектов и др. Предлагаемые авторами роторы Н-Дарье, роторы Савониуса и комбинированные роторы с закрылками могут быть также применены для энергоснабжения речных и морских судов, а также для привода гребных винтов маломерных судов [20, 21].

6. Заключение

1. Впервые выполнены экспериментальные исследования по оценке влияния зигзагообразных закрылков на работу роторов Н-Дарье и Савониуса. Установлено, что частота вращения и коэффициент мощности роторов оригинальных роторов Н-Дарье и Савониуса, имеющих лопасти с закрылками больше частоты вращения роторов Н-Дарье и Савониуса известной конструкции на 18 %. Это объясняется тем, что зигзагообразные закрылки разбивают крупные вихри, образующиеся в кормовой части крыловидного профиля лопастей или за внешней образующей полуцилиндрических лопастей при вращении роторов Савониуса. Таким образом, целесообразно снабжать лопасти ВО ВЭУ закрылками с треугольными элементами небольшой высоты.

2. Силы сопротивления при обтекании траверс ротора Дарье настолько велики, что могут привести к снижению коэффициента мощности 0,56 до 0,28, т.е. в 2 раза. При оптимальном угле установки лопастей 4° и при наличии закрылков в форме треугольных зигзагов высотой частота вращения ротора Н-Дарье увеличивается, что приведет к повышению коэффициента мощности. Оптимизация геометрических параметров и совершенствование конструкций лопастей может привести к увеличению коэффициента мощности ротора Н-Дарье до значения 0,72 превышающего максимально возможное значение 0,45 для ГО ВЭУ.

3. Максимально возможное значение для ГО ВЭУ значение $C_p = 0,45$ достигается лишь при совпадении скорости ветра с осью вращения ротора.

Наличие у них достаточно инерционных систем управления ориентацией на ветер снижает фактический коэффициент мощности до 0.25–0.35. Поэтому предлагаемая авторами модернизированная конструкция ротора Савониуса с максимально возможным значением коэффициента мощности 0.32 может быть вполне конкурентоспособной с ГО ВЭУ.

4. Роторы Н-Дарье целесообразно агрегировать с роторами Савониуса, имеющими достаточно большой пусковой момент. Поэтому запуск ротора Н-Дарье может быть осуществлен при гораздо меньших скоростях вращения. Такой комбинированный ротор может быть скомпонован с электрогенератором, а также с механическим теплогенератором и использован в системах электро- и теплоснабжения различных объектов. Эти роторы могут быть также применены для энергоснабжения речных и морских судов и для привода гребных винтов маломерных судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Семкин Б В., Стальная М И, Свит П П 1996 Использование возобновляемых источников энергии в малой энергетике. – Теплоэнергетика, № 2 С. 6-7.
2. Шишкин Н Д 2012 Эффективное использование возобновляемых источников энергии для автономного теплоснабжения различных объектов Астрахань: Изд-во АГТУ 208с.
3. Чивенков А И , Лоскутов А Б, Михайличенко Е А 2012 Анализ применения и развития ветроустановок // Промышленная энергетика № 5 С. 57-63.
4. Шишкин Н Д, Ильин Р А 2017 Анализ направлений повышения конкурентоспособности конструкций энергоэффективных ВЭУ различных типов / Вестник АГТУ.. № 2 С. 42-50.
5. Ляхтер В М, Шполянский Ю Б 1988 Аэродинамика ортогональных ветроагрегатов // Сб. науч. Тр. Гидропроекта М.: – Вып. 129: Ветроэнергетические станции С. 113-127.
6. Соломин Е В 2011 Методология разработки и создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок: монография Челябинск: Изд-во ЮУрГУ 324 с.
7. Баклушин П Г, Вашкевич К П, Самсонов В В 1988 Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик ортогональных крыльчатых ветроколес // Сб. науч. тр. Гидропроекта М. С. 98-105.
8. Ершина А К, Ершин Ш А , Жалбасбаев У К 2001 Основы теории ветротурбины Дарье Алматы: КазгосИНТИ 148 с.
9. Абрамовский Е Р 1987 Аэродинамика ветродвигателей: Учеб. пособие Д.: ДГУ 220 с.
10. Белоцерковский О М 1994 Численное моделирование в механике сплошных сред М.: Физматлит 448 с.
11. Белоцерковский С М 1971 Крыло в нестационарном потоке газа М.: Наука 352 с.
12. Волков Н И 1996 Аэродинамика ортогональных ветродвигателей: Учеб. пособие Сумы: ВВП «Мрия-1» ЛТД 198 с.
13. Горелов Д Н 2010 Энергетические характеристики ротора Дарье (обзор) // Теплофизика и аэромеханика Т. 17, № 3 С. 325-333.
14. Горелов Д Н 2003 Проблемы аэродинамики ветроколеса Дарье // Теплофизика и аэромеханика Т. 10, № 1 С. 47-51.
15. Горелов Д Н 2012 Аэродинамика ветроколеса с вертикальной осью вращения / Омский филиал института математики им. С. Л. Соболева СО РАН Омск: Полиграф. центр КАН 68с.
16. Шишкин Н Д, Ильин Р А 2018 Анализ аэродинамических параметров и энергетической эффективности вертикально осевых ветродвигателей // Вестник АГТУ № 2 С. 42-50.
17. Схематичные рисунки крыльев птиц 2018 <https://yandex.ru/images/search?text> .
18. Форандо, Моди 1988 Характеристики ветродвигателя Савониуса // Современное машиностроение серия А. № 10 С. 139-148.
19. The design, estimation of the parameters of the vertical-axial wind-mill electric generating unit for the self-generated power supply of the objects / N. D. Shishkin, R. A. Ilyin // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. Volume 1111. 012055.
20. Savonius rotors research for the self-generated power supply by land, by sea / N. D. Shishkin, R. A. Ilyin // Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2018. Volume 1111. 012056.
21. Nikolai Shishkin and Roman Il'in // Experimental determination of the energy efficiency of rotors of vertical-axis wind turbines for autonomous power supply on land and at sea International Scientific Conference on Energy, Environmental and Construction Engineering (EECE-2018) Saint-Petersburg, Russia, November 19-20, 2018. MATEC Web of Conferences Volume 245 (2018) 06016 Published online: 05 December 2018 DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824506016>.
22. Шишкин Н Д, Терентьев И С 2015 Оценка основных параметров комбинированных вертикально-осевых установок для судов и нефтедобывающих платформ // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология № 2 С.56-63.
23. Шишкин Н Д, Ильин Р А 2018 Оценка параметров вертикально-осевых ветродвигателей для энергоустановок маломерных судов // Вестник АГТУ. Сер. Морская техника и технология № 3 С.93-100.

№29/2019

Norwegian Journal of development of the International Science

ISSN 3453-9875

VOL.1

It was established in November 2016 with support from the Norwegian Academy of Science.

DESCRIPTION

The Scientific journal “Norwegian Journal of development of the International Science” is issued 12 times a year and is a scientific publication on topical problems of science.

Editor in chief – Karin Kristiansen (University of Oslo, Norway)

The assistant of the editor in chief – Olof Hansen

- James Smith (University of Birmingham, UK)
 - Kristian Nilsen (University Centre in Svalbard, Norway)
 - Arne Jensen (Norwegian University of Science and Technology, Norway)
 - Sander Svein (University of Tromsø, Norway)
 - Lena Meyer (University of Gothenburg, Sweden)
 - Hans Rasmussen (University of Southern Denmark, Denmark)
 - Chantal Girard (ESC Rennes School of Business, France)
 - Ann Claes (University of Groningen, Netherlands)
 - Ingrid Karlsen (University of Oslo, Norway)
 - Terje Gruterson (Norwegian Institute of Public Health, Norway)
 - Sander Langfjord (University Hospital, Norway)
 - Fredrik Mardosas (Oslo and Akershus University College, Norway)
 - Emil Berger (Ministry of Agriculture and Food, Norway)
 - Sofie Olsen (BioFokus, Norway)
 - Rolf Ulrich Becker (University of Duisburg-Essen, Germany)
 - Lutz Jäncke (University of Zürich, Switzerland)
 - Elizabeth Davies (University of Glasgow, UK)
 - Chan Jiang (Peking University, China)
- and other independent experts

1000 copies

Norwegian Journal of development of the International Science

Iduns gate 4A, 0178, Oslo, Norway

email: publish@njd-iscience.com

site: <http://www.njd-iscience.com>