

620.9(05)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

კავშირი  
"მეცნიერება და ენერგეტიკა"

**ენერგეტიკა**

სამეცნიერო-ტექნიკური რევირეზიული  
ჟურნალი

**4(108)/2023**

---

თბილისი

ISSN 1512-0120

**სარედაქციო კოლეგია:**

მთავარი რედაქტორი – მერაბ ლორთქიფანიძე

მთავარი რედაქტორის მოადგილე – შალვა გაგოშიძე

სარედაქციო კოლეგიის წევრები: რ.არველაძე, გ.არაბიძე, ი.ბიჯამოვი, დ.გურგენიძე, ვ.კინკლაძე, გ.ღეკიშვილი, თ.მუსელიანი, ლ.მებონია, დ.ნამგალაძე, ა.ყუბანიშვილი, ა.ჭითანავა, გ.ხელიძე, ე.შატაკიშვილი, ბ.ჭუნაშვილი, ა.ჩიქოვანი, ივ.ჩოლოყაშვილი, ნ.ჩახვაშვილი (პასუხისმგებელი რედაქტორი), ზ.სკვორცოვა (რუსეთი), კ.სეიხანი (თურქეთი), პ.პსაროპულოსი (საბერძნეთი), ა.სარუხანიანი (სომხეთი), ა.კულიევი (აზერბაიჯანი).

**EDITORIAL BOARD:**

The editor-in-chief – Merab Lordkipanidze

Deputy of the editor-in-chief - Shalva Gagoshidze

Editorial board members: R.Arveladze, G.Arabidze, Y.Bijamov, D.Gurgenidze, V.Kinkladze, A.Kubaneishvili, G.Lekishvili, T.Museliani, I.Mebonia, D.Namgaladze, G.Khelidze, E.Shatakishvili, A.Tshitana, B.Tchunashvili, A.Chikovani, Iv.Cholokashvili, N.Chakhvashvili (managing -editor- in-chief), Z.Skvortsova (Russia), K.Seyhan (Turkey), P.Psarropoulos (Greece), A.Sarukhanian (Armenia), A.Kuliev (Azerbaijan).

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

Главный редактор – Мераб Лордкипанидзе

Заместитель главного редактора – Шалва Гагошидзе

Члены редакционной коллегии: Р.Арвеладзе, Г.Арабидзе, Я.Биджамов, Д.Гургенидзе, А.Кубанейшвили, В.Кинккладзе, Г.Лекишвили, Т.Муселиани, Л.Мебония, Д.Намгаладзе, Г.Хелидзе, Е.Шатакишвили, А.Читанова, А.Чиковани, И.Чолокашвили, Б.Чунашвили, Н.Чахвашвили (ответственный редактор), З.Скворцова (Россия), К.Сейхан (Турция), П.Псаропулос (Греция), А.Саруханян (Армения), А.Кулиев (Азербайджан).

**ნომრის მომზადებაში მონაწილეობდნენ:**

ტექნ. მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი ნ.ბარაბაძე, ე.ზამბახიძე, ბ.ბურჭულაძე (ნომრის კომპიუტერული აწყობა-დაკაბადონება), ი.თუმანიშვილი (ტექსტის რედაქტირება), ს.ბერიძე (ინგლისური ტექსტის მომზადება).

ჟურნალ "ენერჯის" რედაქციის მისამართი: 0179 თბილისი, ი.აბაშიძის 40. ტელ. 218-09-51

The address of the editorial office of journal "Energy": 40, I.Abashidze str., Tbilisi, 0179, Georgia, tel. 218-09-51

Адрес редакции журнала "Энергия": 0179 Грузия, Тбилиси, ул. И.Абашидзе, 40.

тел. 218-09-51

რეგისტრაციის ნომერი № 5<sup>ა</sup> / 4 - 645

© "ენერჯია". 2011

www.Energyonline.ge

სარჩევი – CONTENTS - СОДЕРЖАНИЕ

გვ. P. Стр.

*Я.Биджамов, Г.Циколия. О возможности снижения добавочных потерь и нагревов в эксплуатируемых гидрогенераторах. . . . .* 5

*გრ.ხარშილაძე, ზ.გობიანიძე, გ.გიორგაძე. ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების დაზიანებული კვანძების აღდგენის გამართივებული ხერხები...* 12

*თ.კობრიძე. ლაზერულ-პლაზმური მარქარებლების მათემატიკური მოდელი. . . . .* 17

*გ.კობრიძე, ზ.გაჩეჩილაძე, ნ.ბერაძე, გოჩა კობრიძე, გ. ქადაგიშვილი. მუდმივი დენის გადამცემის ერთ ბოგირა ნახევარ წრედის ექვივალენტური სქემა და გარე მახასიათებლების აგება ელექტრული ენერჯის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში. . . . .* 25

*ლ.პაპავა, თ.ისაკაძე, მ.რაზმაძე, მ.ქობალია, გ.გუგულაშვილი.ინოვაციური კონსტრუქციის სამკამერიანი საყოფაცხოვრებო მაცივარი. . . . .* 37

*ვ.კვინტრაძე, მ.ჟღენტაი. სამშენებლო ფიზიკის საკითხების ზოგადი მიმოხილვა.....* 42

*მ.ლორთქიფანიძე, ზ.ქარუმიძე, ნ.ფცქიალაძე. მყარი ნივთიერებების შენელებული შექცევადი დეფორმაცია ზედაპირულად-აქტიურ გარემოში. . . . .* 46

პ უ ლ ო ც ა ვ ი

*პროფესორ თამაზ კობრიძეს - 75 წლისაა. . . . .* 51

*სტატიების შემოტანის წესები . . . . .* 55



## О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ДОБАВОЧНЫХ ПОТЕРЬ И НАГРЕВОВ В ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГИДРОГЕНЕРАТОРАХ

Якир Биджамов - Доктор техн. наук, профессор

E-mail: [y.bijamov@gmail.com](mailto:y.bijamov@gmail.com)

Гиорги Циколия - Магистрант

E-mail: [tsikoliag@gmail.com](mailto:tsikoliag@gmail.com)

Грузинский Технический Университет

*Аннотация. Показано значение добавочных потерь в гидрогенераторах и их влияние на дополнительный нагрев активных материалов, предельные температуры которых ограничивают энергетические возможности эксплуатируемых машин. Приведены способы определения указанных потерь и выполнения температурных измерений в частях генератора, не охваченных штатным термоконтролем. Рассмотрен практический пример определения добавочных потерь и нагревов в полюсном наконечнике реального гидрогенератора и реализации возможности их снижения.*

**Ключевые слова:** *гидрогенератор, добавочные потери, нагрев, полюсный наконечник, измерение температуры.*

Добавочные потери в гидрогенераторах, также как и в других электрических машинах, наряду с основными электрическими и магнитными потерями влияют на нагрев отдельных активных и конструктивных частей машин. Тепловое состояние активных материалов, и в первую очередь, электрических обмоток и шихтованной стали гидрогенератора является решающим в определении его предельных электромагнитных нагрузок и в обеспечении длительной и надежной работы электростанции, а следовательно, и энергосистемы в целом [1,2]. Срок службы электрической машины при ее эксплуатации на допустимой мощности зависит в основном от срока службы изоляционного материала.

Увеличить срок службы генератора на стадии проектирования возможно за счет расчета его на пониженный нагрев благодаря повышенных сечений активных материалов или высокоэффективной системы охлаждения, а также за счет выбора современных изоляционных материалов, способных выдерживать большие тепловые нагрузки на протяжении длительного времени [2]. Для эксплуатируемых же машин срок службы может быть продлен лишь за счет грамотной эксплуатации, неукоснительного выполнения норм ПТЭ, а также организации диагностического контроля, позволяющего своевременно выявлять те или иные нарушения в работе машины, отражающиеся на его тепловом состоянии [3,4].

Превышение температуры сверх нормально допустимого значительно снижает срок службы изоляционного материала за счет его интенсивного старения [5]. Кроме того, в процессе эксплуатации изоляционный материал, кроме термических, подвергается механическим, электрическим и химическим нагрузкам. Это со временем приводит к тому, что его сопротивляемость уменьшается до того, что в какой-то момент изоляционный материал не в состоянии справиться с многообразием нагрузок.

Последнее, при отсутствии должного термоконтроля и средств диагностики, приводит к пробое изоляции и к тяжелым авариям, связанным с дорогостоящим ремонтом гидрогенератора [5,6].

Это актуально как для обмоток, так и для активной стали генератора. Чрезмерный нагрев приводит не только к повреждению лаковой межлистовой изоляции активной стали, но и к значительным механическим изменениям, которые отражаются на ослаблении прессовки сердечников. Это, в свою очередь, приводит к появлению вибрации листов активной стали, дальнейшему повреждению изоляции между ними, замыканиям и, как следствие, к еще большему увеличению нагрева этих участков за счет увеличения потерь в стали. Все это становится причиной тяжелых аварий с повреждением не только активной стали, но и стержней статорной обмотки гидрогенераторов.

На рис. 1 приведен пример одной из таких аварий, связанной с пробоем изоляции обмотки статора с последующим выплавлением части активной стали возникшей дугой. Следует отметить, что такие аварии связаны с дорогими и трудоемкими ремонтами с выемкой ротора, во время которых длительное время гидроагрегат простаивает и не исключены случаи сброса воды и потери энергоресурсов.

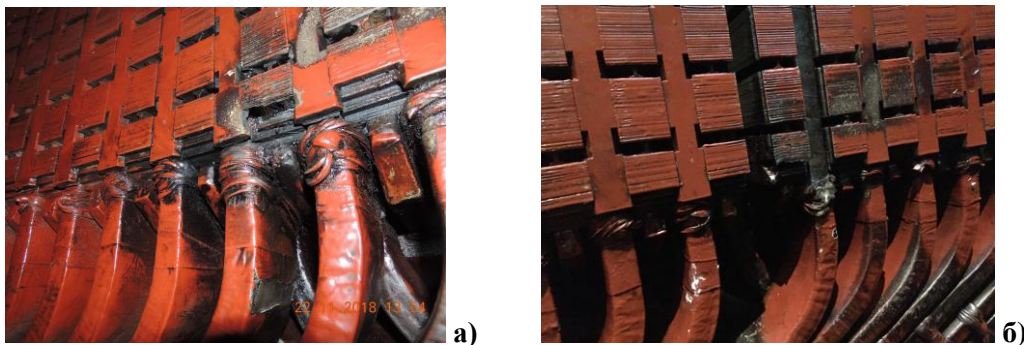


Рис. 1. Повреждение обмотки статора с выплавлением части зубца активной стали: а) место повреждения до разборки обмотки; б) вынутый стержень при ремонте

Следует отметить, что кроме выше приведенного, перегревы активных частей влияют также на КПД генератора [6]. Как известно, все расчеты параметров номинального режима гидрогенератора ведутся, в основном, для температуры обмоток  $75^{\circ}\text{C}$  [1,2]. Таким образом, работа даже на допустимых предельных температурах связана с дополнительными потерями, обусловленными повышением активного сопротивления обмоток. Например, для изоляции класса В допустима температура  $120^{\circ}\text{C}$ . Следовательно потери в генераторе при таком режиме повысятся на 20%, что соответственно отразится на снижении его энергетических показателей.

Из этого следует, что актуальной задачей является не только выявление очагов добавочных потерь и осуществление мероприятий по их снижению, но также создание методов и средств диагностического обследования эксплуатируемых электрических

машин с целью определения их реального теплового состояния и выявления очагов местных перегревов. Это позволит своевременно обнаруживать те или иные нарушения в работе электрооборудования и тем самым предупреждать возможные аварии, что продлит срок службы дорогостоящего и трудновосполнимого основного электрооборудования.

Тяжелые условия работы энергосистемы за прошедшие годы, часто выходящие за рамки норм эксплуатации, ставили задачи, на которые не всегда находился готовый ответ, что требовало выполнения глубокого научного исследования. Отсутствие готовых решений в таких случаях для эксплуатации объясняется тем, что указанные режимы работы электрооборудования не должны были иметь место и запрещены действующими нормами. Однако, как известно, по объективным и субъективным причинам такие режимы в прошедшие годы (середина 90-х годов) носили систематический характер, а их результаты иногда проявляются до недавнего времени. В качестве примера можно привести работу энергосистемы в течении достаточно длительного времени на недопустимо низкой частоте тока в сети.

Исследование, проведенное ГрузНИИЭ показало, что в особо тяжелых условиях в этих случаях оказывались генераторы энергосистемы, которые получали значительные электромагнитные и тепловые перегрузки активных материалов. Выполненные натурные эксперименты на генераторе ХрамГЭС-1 при работе на пониженных частотах в различных режимах показали разрушительное действие таких режимов для генераторов энергосистемы Грузии [7].

Еще одним примером исследования работы генераторов электростанций в аномальном режиме является определение влияния отключения поврежденного витка в параллельной ветви фазы обмотки статора гидрогенератора на режим его работы. Известны случаи, когда при повреждении стержня обмотки статора и отсутствии возможности (из-за режима работы станции) остановки генератора на длительный ремонт для замены стержня, - устанавливалась временная перемычка, исключаящая виток с поврежденным стержнем. Известно немало случаев работы в таком режиме в течении длительного времени без всякой информации об электромагнитных и тепловых процессах, происходящих при этом в генераторе.

Сложность положения заключается в том, что все выше приведенное в основном происходит на фоне отсутствия информации о реальной тепловой картине активных частей генератора. Как известно, контроль за нагревом частей статора осуществляется штатными стационарными датчиками, заложенными на дно паза (для определения температуры активной стали) и между стержнями (для определения температуры меди) обмотки статора. Вместе с тем указанные штатные термодатчики в процессе длительной и тяжелой эксплуатации генераторов часто не функционировали. Восстановление штатного термоконтроля в случае его повреждения возможно только во время полной

или частичной перемотки статора гидрогенератора. Поэтому часты случаи работы эксплуатируемых генераторов с нарушенным термоконтролем.

Отсутствие возможности своевременного выявления при этом нарушений в системе охлаждения, неизбежных в процессе такой эксплуатации, приводит к созданию зон с недопустимыми нагревами активных частей генератора. Местные перегревы изоляции активных материалов создают предпосылки к аварийной ситуации на фоне благополучной общей картины, определяемой усредненными тепловыми параметрами охлаждающего воздуха генератора. Результатом выше отмеченных условий эксплуатации оказывается превышение реальных допустимых энергетических показателей генераторов, которое, в конечном счете, приводит к тяжелым авариям со значительным материальным ущербом (см. рис.1).

Сложность обнаружения очагов местных перегревов с помощью штатного термоконтроля статора гидрогенераторов обусловило необходимость поиска других путей осуществления температурных измерений. Для этого в ГрузНИИЭ была разработана методика и созданы необходимые средства для расчетно-экспериментального определения наибольшей температуры меди обмотки статора и активной стали эксплуатируемых гидрогенераторов.

На рис. 2 приведена структурная схема измерения температуры различных частей статора, где (1-N) обозначены отдельные термодатчики, а (1-K) – специальные термоизмерительные щупы. Специальными термоизмерительными щупами оснащаются различные участки статора через каналы в пакетах активной стали. Отдельные термодатчики (1-N) могут быть также установлены как на частях статора, так и на частях полюсов ротора. Причем, сигнал с этих термодатчиков снимается при вращении ротора с помощью специального токосъемного устройства и подается на коммутационное устройство.

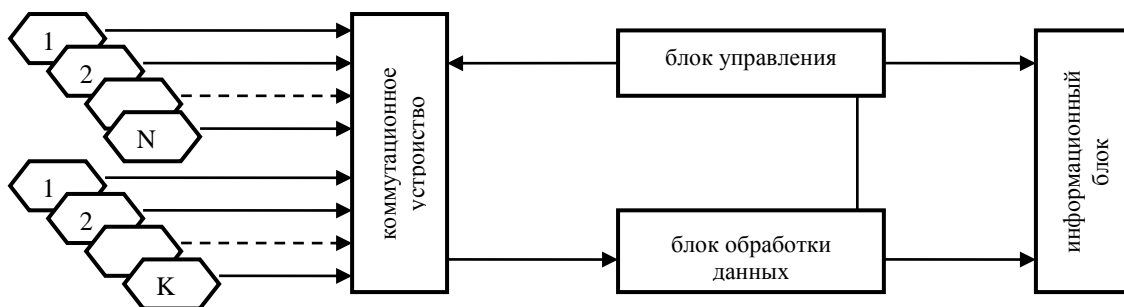


Рис. 2. Структурная схема выполнения температурных измерений частей гидрогенератора

Вышеприведенная расчетно-экспериментальная методика основана на решении уравнений теплового баланса в исследуемой части статора и отличается от известных [2,3] способов тепловых расчетов в гидрогенераторах возможностью получения некоторых температур не расчетным путем, а на основе эксперимента. При этом,



учитывается неравномерность нагревов по длине и толщине пакетов стали. Все это значительно повышает точность определения искомых температур, а возможность установки измерительных датчиков в разных точках, позволяет выявить наиболее нагретую часть обмотки и стали статора.

Для исключения ощутимых погрешностей при расчетном определении ряда коэффициентов теплоотдачи, методика предусматривает экспериментальное определение температур в конкретных фиксированных точках, являющихся концевыми или промежуточными точками расчетных ветвей тепловой схемы замещения. Такие точки отобраны на поверхности стали шихтованного пакета, а также по длине радиального канала от воздушного зазора до камеры горячего воздуха. Для реализации расчетно-экспериментальной методики определения наибольшей температуры меди обмотки статора разработано и изготовлено измерительное оснащение с коммутационной и информационной аппаратурой согласно схеме рис. 2. Использование предлагаемой методики тепловых измерений позволяет установить реальную тепловую картину в статоре гидрогенератора и выявить наиболее перегруженные в тепловом отношении участки активных материалов.

Выполнение экспериментальных исследований для различных режимов работы генератора позволяет получить зависимости превышения температур обмоток и активной стали от нагрузки. С помощью этих зависимостей может быть определена реально допустимая мощность генератора из условия предельно допустимых нагревов активных материалов. На основе обработки результатов исследований разрабатываются, а затем и осуществляются мероприятия по повышению энергоэкономических показателей этих генераторов. Выполненные работы [6-8] на генераторах ХрамГЭС-1 и ХрамГЭС-2 подтверждают эффективность использования предлагаемых методов и средств натурных исследований. Заметим, что предлагаемые в работе методы и средства позволили также выполнить исследования всех выше приведенных аномальных режимов работы гидрогенераторов энергосистемы при нарушенном штатном термоконтроле.

Среди выше отмеченных мероприятий особое место занимают те, которые позволяют определить и снизить потери и нагревы в активных материалах эксплуатируемых гидрогенераторов. Среди них можно отметить работы по определению добавочных потерь в демпферной обмотке и выдаче рекомендаций по их снижению [9]. В этой работе рассмотрена методика оценки потерь электроэнергии в полюсных наконечниках как до, так и после выполнения реконструкции роторов. Приведены примеры практического осуществления мероприятий по снижению добавочных потерь в полюсах эксплуатируемых гидрогенераторов.

В таблице приведены результаты экспериментального определения коэффициентов увеличения активного сопротивления  $K_{\Sigma}$  стержня демпферной обмотки в области щеки полюса для паза с прорезью 6 мм, с целью их сравнения с данными закрытого паза, при

Таблица

Паз	$I_{cv}, A$	Частота тока в стержне $\nu, Гц$				
		100	150	200	300	400
без прорези	100	85,4	109	127	158	194
	200	95,4	107	144	182	213
	300	93,2	124	145	173	215
	500	88,3	112	134	171	195
с прорезью	100	8,44	13,2	18,1	27,3	35,3
	200	8,02	12,5	16,9	24,8	32,4
	300	8,47	12,2	16,2	24,9	30,9
	500	8,29	11,5	15,4	23,45	28,6

Результаты приведены для различных гармонических  $\nu$  и токов  $I_{cv}$  в демпферном стержне. Как видно из таблицы,  $K_{\Sigma}$  в пазе с прорезью уменьшается в 7-10 раз по сравнению с закрытым пазом без прорези [9]. Следовательно, пропорционально ему снизятся также потери в щеках и нагревы от них в случае выполнения прорезей в закрытых пазах, т.е. даже при тех же токах в стержнях, потери окажутся в 7-10 раз меньше.

На приведенном примере показано, как ощутимо может быть снижена одна из составляющих добавочных потерь гидрогенератора. Аналогичное изменение конструкции может быть выполнено для закрытых пазов на шихтованной части полюсного наконечника, где может быть получен еще большее снижение потерь и нагревов.

### Л и т е р а т у р а

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины/ Машины переменного тока// Учебн. для вузо СПб.: Питер; 2010. 350 с.ил;
2. Абрамов А.И., Иванов-Смоленский А.В. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. 2-е изд, пераб. и доп./ М.:Высшая школаю 2001. 389 с. ил.
3. РД 34.45.51.300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования/Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца// 6-е изд.. М.: Изд-во НИЦ ЭНАС. 2000. 256 с.
4. ელექტროსადგურების და ქსელების ტექნიკური ექსპლუატაციის წესები. დარგობრივი წესები. დამტკიცებულია საქართველოს მთავრობის 2013 წლის 31 დეკემბრის N434 დადგენილებით, ქ. თბილისი.
5. Клоков Б.К., Уманцев Р.Б. Ремонт обмоток электрических машин высокого напряжения. М.: Высшая школа. 1991. 192 с.
6. Mirtskhulava D., Vijamov Y. On the thermal state of hydrogenerators in the pover sistem // Energy. 2000, № 2(14).
7. Арвеладзе Р.Д., Биджамов Я.Г. О влиянии пониженной частоты тока в сети на работу электрогенераторов. Электрические станции. М.: НТФ "Энергопрогресс". №9. 1997. с.61-64.
8. Mgaloblishvili L.,Vijamov Y, Uplisashvili N.. Hydraulic-Turbine Generator Losses Upon Current Frequency Decrease in Power Network/Bulletin of the Georgian academy of sciences.168. #3. 2003. p. 510-513.
9. Биджамов Я.Г. Улучшение энергетических характеристик гидрогенераторов за счет уменьшения потерь в полюсах//Энергия. №4(88). Тбилиси. 2018.

**ON THE POSSIBILITY OF REDUCING ADDITIONAL LOSSES AND HEATING IN OPERATING HYDROGENERATORS.**

*Y.Bijamov, G.Tsikolia.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 5-11. rus. sum geo. engl. rus.

The importance of additional losses in hydrogenerators and their influence on additional heating of active materials, the temperature limits of which limit the energy capabilities of the operating machines, are shown. Methods are given for determining these losses and performing temperature measurements in parts of the generator that are not covered by standard thermal control. A practical example of determining additional losses and heating in the pole piece of a real hydrogenerator and realizing the possibility of reducing them is considered.

*Ill. 2, tabl. 1, bibl. 9.*

ექსპლუატაციაში მყოფ ჰიდროგენერატორებში დამატებითი დანაკარგების და გახურებების შემცირების შესაძლებლობის შესახებ.

*ი.ბიჯამოვი, გ.ციკოლია.*

„ენერჯია“. №4(108). 2023. თბილისი. გვ. 5-11. რუს. ანოტ. ქართ. ინგლ. რუს.

ნაჩვენებია ჰიდროგენერატორებში დამატებითი დანაკარგების მნიშვნელობა და მათი გავლენა აქტიური მასალების დამატებით გახურებებზე, რომელთა ზღვრული ტემპერატურები ზღუდავს ექსპლუატაციაში მყოფი მანქანების ენერგეტიკულ შესაძლებლობებს. მოცემულია მეთოდები ამ დანაკარგების დასადგენად და ტემპერატურის გაზომვების შესასრულებლად გენერატორის იმ ნაწილებში, რომლებიც არ არის დაფარული საშტატო თეროკონტროლით. განხილულია რეალური ჰიდროგენერატორის პოლუსის ბუნიკში დამატებითი დანაკარგების და გახურებების დადგენისა და მათი შემცირების შესაძლებლობის რეალიზების პრაქტიკული მაგალითი.

*ილ. 2, ცხრ. 1, ლიტ. 9.*

## ელექტრომექანიკური გარდამქმნელების დაზიანებული კვანძების აღდგენის გამარტივებული ხერხები

გრიგოლი ხარშილაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [kharshiladze72@mail.ru](mailto:kharshiladze72@mail.ru)

ზურაბი გობიანიძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [gobianidzezurabi@gmail.com](mailto:gobianidzezurabi@gmail.com)

გიორგი გიორგაძე - ბაკალავრი

E-mail: [giorgadze.giorgi200531@gmail.com](mailto:giorgadze.giorgi200531@gmail.com)

საქათველოს ტენიკური უნივერსიტეტი

*ანოტაცია. აღწერილია ელექტრული მანქანების ყველაზე მეტად გავრცელებული მექანიკური ნაწილებისა და კვანძების დაზიანების სახეები. მოცემულია დაზიანების აღდგენის ტრადიციული მეთოდები. შემოთავაზებულია ტექნოლოგიურად გაიოლებული, ბევრად ეკონომიური დაზიანებული კვანძების აღდგენის მეთოდები. მოცემულია რეკომენდაციები, რომლის გათვალისწინებით და გამოყენებით საგრძნობლად მცირდება დაზიანებული ელექტრული ძრავის აღდგენითი სამუშაოების ჩატარების დრო და ფასი. დადგენილია ტექნოლოგიური პროცესის თანმიმდევრობა აღდგენითი სამუშაოების ჩასატარებლად.*

*სავანძო სიტყვები: ძრავი, ლილვი, საკისარი, მილისა, გვირგვინი, ძედაპირით, დაფარვა, ქრომირება, მიკრონი.*

პრაქტიკაში ელექტრომექანიკურ გარდამქმნელებს ხშირად უწევთ სხვადასხვა გარემოში მუშაობა ასე მაგალითად ტუმბოები მუშაობან წყალში ჩამირულ მდგომარეობაში შესაბამისად ძრავების ცალკეული კვანძების დაზიანების თავიდან ასაცილებდა გამოყენებულია სხვადასხვა დანიშლუნიების და კონსტრუქციის დეტალები, როგორცაა წყალმდეგი მანჯეტები, ჩობალი, გერმეტიკები და ასე შემდეგ. მათი დანიშნულებაა წინაღმდეგობა გაუწიოს სხვადასხვა ნივთიერებების შეხწევას ძრავების შიდა მოცულობაში. ამისათვის ასეთი ძრავების კონსტრუქციები რადიკალურად განსხვავადებისან ჩვეულებრივი ძრავების კონსტრუქციისაგან. მიუხედავად ამისა სხვადასხვა გარემოდან ძრავების შიდა მოცულობასი დროთა განმავლობაში მუშაობის პროცესში მაინც აღწევნ წყლის წვეთები, სხვადასხვა ქიმიური ნივთიერებებიცალკეული კვანძების დაზიანებას. თუ განხვიხილავთ კონკრეტულ შემთხვევებს შეიძლება შესაძლო ვარიანტები დავყოთ ორ ნაწილად: 1) ძრავრედუქტორის კვანძი 2) წყლის ტუმბოები. პირველ შემთხვევაში არის საპოხი ზეთის ძრავის შიდა მოცულობაში მოხვედრის საშიშროება საკისრის, ლილვი, რეზინის მანჯეტების და ჩობალის გავლით, ხოლო მეორე შემთხვევაში, როდესაც საქმე გვაქვს წყლის ტუმბოებთან, მუშა თვლის ლილვის, საკისრის, დაჩობალის გავლით წყლის წვეთების შეხებაში მოდიან ძრავის შიდა მოცულობაში მყოფ კვანძებთან, სხვადასხვა სახიმ

ნივთიერება აზიანებს ბრუნავი ნაწილების ზედაპირს. ხშირია შემთხვევები როდესაც ლილვიშზედაპირის დაზიანების სიღრმე 1.5 მმ-ს აღემატება. სამწუხაროდ დაზიანებული ზედაპირი არ არის გლუბი მას ბასრი (მჭრელი) დაბოლოებები აქვს. ხშირად ნაწიბურებს და დანის პირებს გვაგონებს, რომლებიც მოძრაობის შემთხვევაში აქუცმაცებენ რეზინის ზედაპირს და გამოყავთ წყობიდა. არსებობს უამრავი მეთოდი დაზიანებული ლილვის აღდგენისა არის ვარიანტი როდესაც ლილვი სესაცვლელია. ხშირ შემთხვევაში ხდება ლილვის დაფარვა სხვადასხვა მასალებით როგორცაა კადმიუმი, ნიკელი, ქრომი და ასე შემდეგ. მომდევნო ოპერაციაა ლილვიდ მექანიკური დამუშავება, როგორცაა სახარატო ან სახეხი პროცესები შეაბამისი სიზუსტის კლასით. ზემოთ ჩამოთვლილი ოპერაციები მოითხოვენ დიდ თანხებას და დროს. არსებობს ალტერნატიული ვარიანტი, რომელიც იაფია და ფროის ფაქტროი თითქნის ნოლამდეა დაყვანილი. იმშემთხვევაში როდესაც დაზიანებები არ აღწამტება 1.5 მმ-ს, დაზიანებულ ადგილების (ორმოების) შევსება შეიძლება კალის საშვალებით. მოკალვა ხდება ჩვეულებრივი საჩილავით 300°C ტემპერატურაზე. კალის დნობის ტემპერატურა 300°C პარგებშია. ლილვის მუშაობის ტემპერატურა არ აღემატება 120°C. რაც შეეხება ზედაპირს მისი სირბილის გამო დამუსავება შეაძლებელია ზუმფარის ქალადით. პრაქტიკამ გვიჩვენა რომ ასეთი მეთოდიით აღდგენილი ლილვები მცირე სიმძლავრის ძრავებში მუშაობენ ხარვეზების გარეშე. ელექტრული ძრავების გამოცდებამ რესურსზე აჩვენეს დადებითი რეზულტატი. სურ. 1 და 2-ზე ნაჩვენებია დაზიანებული ლილვის ზედაპირები.



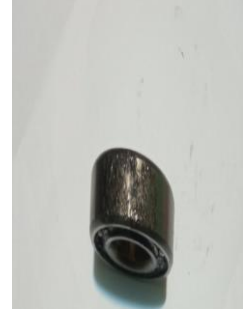
სურ. 1. დაძიანებული ლილვის ზედაპირის სურათი



სურ. 2. დაძიანებული ლილვის ზედაპირის სურათი

სტატისტიკით ცნობილია რომ ელექტრული ძრავების 10% წყობიდან გამოდინ მექანიკური დეტალებისა და კვანძების დაზიანების გამო. დიდი სიმძლავრის ძრავებში საკისრის გარე რგოლი საკისრის ფარში შედის ჭედვით. გარდა ამისა ის დამაგრებული ქანჩებით, ჭანჭიკებუთ და სპეციალური მილისას საშვალეებით. შესაბამისად მას თვისუფრების ხარისხი არ გააჩნია და მისის გადადგილება გამორიცხულია. რაც შეეხება მცირე სიმძლავრის ძრავებს, საკისრის გარე დიამეტრი საკისრის ფარში შედის ჭედვით და აღწურვილია სპეციალური ბრტყელი ზამბართ, რომელიც ეწინააღმდეგება საკისრის გარე რგოლის გადადგილებას ბრუნვის მიმართულებით. ძალიან შირ შემთხვევაში მცირე სიმძლავრის ელექტულ ძრავებაში საკისრის ფარები მზადდებიან ალუმინ შენადნობისაგან რომელიც თუჯის მასალასთან შედარებით გაცილებით რბილია. ექსპლოატაციის პირობებში ხდება საკისრის ფარის ოთლვა რაც თავის მხრივ იწვევს საკისრის ფარის ბუდის შიდა დიამეტრის გაზრდას. წარმოიქმნება საჰაერო ღრეჩო საკისრის გარე რგოლსა და საკისრის ფარის შდა დიამეტრს შორის . შესაბამისად ჩდება თავისუფლების ხარისხი და საკისრის გარე რგოლი იწყებს მოძრაობას საკისრის ფარის შიგნით ძრავის ბრუნვის მიმართულებით. ზემოთ აღნიშნულ სიტუაციაში ძრავის დაზიანება გარდაუვალია ხშირ შემთხვევაში საჰაერო ღრეჩოს სიდიდე 100 მიკრონს აღემატება.დაზიანების მომდევნო ეტეპზე ელექტრული ძრავის როტორი შეხებაში მოდოდი უძრავი სტატორის კბილებთან და აზიანებს იმ დონეზე რომ მათი აღდგენა შეუძლებელი ხდება. ამ უსიამოვნების თავიდან ასაცილებლად პრაქტიკაში არსებობს რამდენიმე ხრეხი: 1) იღებენ ფოლადის მტკიცე მასალს (ფოლადი 45), ჩარხავენ მილისას და პრესავენ საკისრის ფარის შიდა დიამეტრში, რაც უზრუნველყოფს საჰაერო ღრეჩოს მინიმოზაციას. 2) საკისრის პარისშიდა დიამეტრს შედულების ელექტროდების საშვალეებით ფარავენ მეტალის სქელი ფენით და შემდგომ ხდება მექანიკური დამუშავება ამ შემთხვევაშიც საჰაერო ღრეჩოს სიდიდე დაყვანილია მინიმუმამდე. ზემოთ ჩამოთვლილი მოთოდები გამოიყენება პრაქტიკაში და ამართლებენ თავის დანიშნულებას, მაგრამ საკმაოდ შრომა ტევადია და ძვირი. არსებობს ბევრად იოლი და ხემლისწვდომი ხერხი რომელიც მდგომარეობს შემდეგში: ელექტრული წერტილოვანი შედულების აპარატის საშვალეებით საკისრის გარე რგოლის ზედაპირი იფარება მეტალის ფენით (ხორკლებით), რომელიც წარმოიშობა ელექტრული რკალის მეშვეობით. კრალის წარმოშობის პარამეტრები მერყეობს 50-დან 200-მდე ამპერამდე და ძაბვის სიდიდე არ აღემატება 40 ვოლტს. ას მაგალითად, 50 ამპერის შემთხვევაში ხორკლიანობის სიმალლე 60 მიკრონია. 100 ამპერის შემთხვევაში ხორკლების სიმალლე 120 მიკრონამდე იზრდებდა. 150 ამპერი რკალის დენის ძალა საკისრის გარე დიამეტრის ზომას ზრდის 300 მიკრონამდე.

მცირე სიმძლავრის ელექტრული მაქანებისათვის ხორკლიანი ზედაპირი არ საჭიროებს მექანიკურ დამუშავებას. საკისრის გარე რგოლი პირდაპირ იპრესება საკისრის ფარში და ელექტრული ძრავი ვარგისია ექსპლოატაციისთვის. სურ. 3 და 4-ზე ნაჩვენებია დახორკლილი ზედაპირები რომლებიც შეესაბამება 50, 100, 180 მიკრონის სიდიდეებს.



სურ. 3.



სურ. 4.

10 კილოვატი სიმძლავრის ძრავმა, რომლის ნომინალური სიჩქარე იყო 3000 ბრუნნი წუთში ექსპერიმენტალური გამოცდები წარმატებით გაიარა. საკისრის ფარისა და საკისრის გარე რგოლის კვანძის აღდგენის ტექნოლოგიური ციკლი შედგება შემდეგი ეტაპებისაგან:

- 1) მიკრომეტრის სავალებით დაზიანებული დეტალების გომეტრიული ზომების დადგენა.
- 2) საჰაერო ღრეჩოს ანგარიში.
- 3) საკისრის გარე რგოლის ხორკლიანი ზედაპირის დემეტრის დადგენა.
- 4) წერტილოვანი შედუშების ძალოვანი დენის სიდიდის შერჩევა.
- 5) საკისრის გარე ზედაპირის ხორკლით დაფარვა.
- 6) საკისრის ჩაპრესვა საკისრის ფარში.

აღნიშნული მეთოდი 7-12%-ით აიაფებს დაზიანებული კვანძის აღდგენის ფასს და მისაღებია პრაქტიკული საქმიანობისათვის

## დასკვნა

განხილულია ელექტრული მანქანის დაზიანებული მექანიკური კვანძების აღდგენის ეკონომიური მეთოდები. მოცემულია დაწვრილებითი ტექნოლოგიური პროცესის სქემა დადგენილია დეტალებისა და კვანძების აღდგენის ელექტრული პარამეტრები.

## ლიტერატურა

1. გერსამია ე. ელექტრული მანქანების წარმოების ტექნოლოგია. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2013.
2. გერსამია ე. ელექტრული მანქანების კონსტრუირების ტექნოლოგიური საფუძვლები. თბილისი: ტექნიკური უნივერსიტეტი. 2017.
3. Антонов М.С., Герасинова Л.С. Технология производства электрических машин. М.: Энергоиздат. 1982. 512 с.

## MECHANICAL NODES OF ELECTRIC MACHINES, THE MOST COMMON TYPES OF NODE DAMAGE ARE DESCRIBED.

*G. Kharshiladze, Z. Gobiahidze, G. Giorgadze.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 12-16. geo. sum geo. engl. rus.

Traditional non-economic methods of damage restoration are given. Technologically more cost-effective methods of repairing damaged nodes are proposed. Recommendations are given, taking into account and using them, the time and price of repairing the damaged electric motor is significantly reduced. The sequence of the technological process for carrying out restoration works is established.

*Ill.4, bibl. 3.*

## ПРИОМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ УЗЛОВ В ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ.

*Г. Харшиладзе, З. Гобианидзе, Г. Гиоргадзе.*

"Энергия". №4 (108). 2023. Тбилиси. с. 12-16. груз. реф. англ., рус.

Подробно описаны механические детали узлов, часто выходящие из строя и делающие машину непригодной для дальнейшей эксплуатации. Рассмотрены традиционные методы и общепринятые меры для восстановления выходящих из строя механических узлов электрической машины и предложен упрощённый и более экономичный технологический процесс для восстановления повреждённых узлов и деталей. Приведены рекомендации, использование которых существенно уменьшит время и стоимость восстановления электрической машины.

*Илл. 4, лит.3.*



## ლაზერულ-პლაზმური მაჩქარებლების მათემატიკური მოდელი

თამაზ კობრეიძე - ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფესორი  
E-mail: kthamaz@gmail.com.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. განხილულია ლაზერულ-პლაზმური მაჩქარებლები ადრონული თერაპიისათვის. ენერჯის წყაროს წარმოადგენს მძლავრი ლაზერის ელექტრონების ან პროტონების კონა, ხოლო მაჩქარებელ როლს წარმოადგენს პლაზმა. ნაწილაკების აჩქარება ხორციელდება პლაზმაში კილივატერული ტალღებით, რომელიც გადაადგილდება პლაზმაში სინათლის სიჩქარით. დამუშავებულია მათემატიკური მოდელი ლაზერულ-კინეტიკური მაღალსიხშირული პლაზმისათვის და დამყარებულია რიცხობრივი კავშირი პლაზმის პარამეტრებსა, დენების სიმკვრივეებსა და მაგნიტური და ელექტრული ველების დამაბულობებს შორის.

საკვანძო სიტყვები: ლაზერი, პლაზმა, მაჩქარებელი, ადრონული, ელექტრონი, პროტონი.

მაღალსიხშირული კინეტიკური პლაზმის [1-3] ელექტრომაგნიტური ველების განტოლებებს, შედგენილი მაგნიტური და ელექტრული ინდუქციის ვექტორებით  $(\vec{B}, \vec{D})$ , ელექტრული და მაგნიტური ველების  $(\vec{E}, \vec{H})$  დამაბულობებით და დენის სიმკვრივით  $\vec{j}$ , გააჩნია შემდეგი სახე:

$$r_o t \vec{B} = \mu_o (\vec{j} + \vec{j}_{გარ}) \quad (1)$$

$$r_o t \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2)$$

$$\text{div} \vec{D} = \rho + \rho_{გარ} \quad (3)$$

$$\text{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}, \quad (4)$$

სადაც  $\vec{j}, \rho$  - ინდუქცირებული დენების სიმკვრივე და პლაზმაში მოცულობითი მუხტები;  
 $\vec{j}_{გარ}, \rho_{გარ}$  - გარეშე დენების სიმკვრივე და მოცულობითი მუხტები.

პლაზმის სრული დენის სიმკვრივე  $\vec{j}$  მაღალსიხშირულ ელექტრო-მაგნიტურ ველებში შეიცავს სამ მდგენელს:

$$\vec{j} = \vec{j}_e + \vec{j}_i + \vec{j}_\varepsilon \quad (5)$$

სადაც  $\vec{j}_e$  - ელექტრონული დენის სიმკვრივე;

$$\vec{j}_e = \frac{1}{\ell_{ke}} \int_0^t (\vec{E} - \rho_e \vec{j}) dt; \quad (6)$$

$\vec{j}_i$  - იონური დენის სიმკვრივე;

$$\vec{j}_i = \frac{1}{\ell_{ki}} \int_0^t (\vec{E} - \rho_i \vec{j}_i) dt; \quad (7)$$

$\vec{j}_\varepsilon$  - წანაცვლების დენის სიმკვრივე;

$$\vec{j}_\varepsilon = \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}; \quad (8)$$

$\rho_e, \rho_i$  - პლაზმის ხვედრითი წინაღობები;  $\ell_{ke}, \ell_{ki}$  - პლაზმის ხვედრითი ინდუქციურობები.

პლაზმის ელექტრული და მაგნიტური ველების ვექტორებს შორის უშვებთ ისეთ დამოკიდებულებას, როგორც ამას ადგილი აქვს სიცარიელესთვის:

$$D = \epsilon_0 \vec{E} \quad (9)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H}, \quad (10)$$

სადაც  $\epsilon_0, \mu_0$  - ელექტრული და მაგნიტური მუდმივები.

პლაზმაში აღძრული, ელექტრული ველის დაძაბულობა ზოგად შემთხვევაში შედგება ოთხი შესაკრებისაგან:

$$\vec{E} = \vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v + E_{გარ}, \quad (11)$$

სადაც

$$\vec{E}_\varphi = -grad\varphi \quad (12)$$

$$\vec{E}_A = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \quad (13)$$

$$\vec{E}_v = [\vec{v}_x \times r_{ot} \vec{A}] \quad (14)$$

$\vec{E}_{გარ}$  - გარეშე ელექტრული ველის დაძაბულობა;  $\varphi$  - ელექტრული პოტენციალი;  $\vec{A}$  - ვექტორული მაგნიტური პოტენციალი;  $\vec{v}$  - პლაზმის მოძრაობის სიჩქარე.

სიჩქარის განსაზღვრისათვის გვაქვს „ნავიე- სტოკსის“ განტოლება

$$\rho_{\text{pl}} \frac{d\vec{v}}{dt} = -\nabla \rho + [\vec{j} \times \vec{B}] + \rho_{\text{pl}} \nu \nabla^2 \vec{v}, \quad (15)$$

$\rho_{\text{pl}}$  - პლაზმის სიმკვრივე;  $\nu$  - სიბლანტე;  $\rho$  - წნევა;  $\nabla$  - გამილტონის ოპერატორი

$\nabla = \vec{i} \frac{\partial}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial}{\partial z}$ , რომელიც მოგვიწოდებს წარმოქმნას ეგრედ წოდებული სივრცული ან მოცულობითი, წარმოებული სხვადასხვა ფუნქციიდან (სკალარული ან ვექტორული).

(15)-(18)-ის გათვალისწინებით (1) და (3) განტოლებები მიიღებენ შემდეგ სახეს:

$$r_{ot} r_{ot} \vec{A} = \mu_0 (\vec{j} + \vec{j}_{გარ}), \quad (16)$$

სადაც

$$\vec{j} = \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^t (\vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v + \vec{E}_{გარ} - \rho_e \vec{j}_e) dt + \frac{1}{\epsilon_0} \int_0^t (\vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v + \vec{E}_{გარ} - \rho_i \vec{j}_i) dt + \epsilon_0 \left( \frac{\partial \vec{E}_\varphi}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}_A}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}_v}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}_{გარ}}{\partial t} \right) \quad (17)$$

$$div \vec{D} = div \epsilon_0 (\vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v + \vec{E}_{გარ}) = \rho + \rho_{გარ} \quad (18)$$

გავითვალისწინოთ დამოკიდებულობები:

$$r_{ot} r_{ot} \vec{A} = grad div \vec{A} - \nabla^2 \vec{A}; \quad (19)$$

$$div grad \varphi = \nabla^2 \varphi. \quad (20)$$

(16) და (18) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$grad div \vec{A} - \nabla^2 \vec{A} = \mu_0 (\vec{j} + \vec{j}_{გარ}). \quad (21)$$

$$\operatorname{div} \vec{D} = \operatorname{div} \varepsilon_o (-\operatorname{grad} \varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v + \vec{E}_{\text{გარ.}}) = -\varepsilon_o \nabla^2 \varphi + \varepsilon_o \operatorname{div} \vec{E}_A + \varepsilon_o \operatorname{div} \vec{E}_v. \quad (22)$$

(21) და (22) განტოლება შეიძლება გადაიწეროს შემდეგ სახეში:

$$\nabla^2 \vec{A} - \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} + \mu_o \vec{j} = -\mu_o \vec{j}_{\text{გარ.}}. \quad (23)$$

$$\nabla^2 \varphi - \operatorname{div} \vec{E}_A - \operatorname{div} \vec{E}_v = -\frac{1}{\varepsilon} (\rho + \rho_{\text{გარ.}}). \quad (24)$$

თუ შემოვიფარგლებით კერძო შემთხვევით:

$$\rho_e = 0; \quad \ell_{ki} = 0.$$

დენის სიმკვრივის განსაზღვრისათვის (17) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\vec{j} = \frac{1}{\ell_{ke}} \int_0^t (\vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v) dt + \frac{1}{\rho_i} (\vec{E}_\varphi + \vec{E}_A + \vec{E}_v) + \varepsilon_o \left[ \frac{\partial \vec{E}_\varphi}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}_A}{\partial t} + \frac{\partial \vec{E}_v}{\partial t} \right] \quad (25)$$

დენის სიმკვრივის აღნიშნული მნიშვნელობა (25)-დან ჩავსვათ (23) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$\nabla^2 \vec{A} - \operatorname{grad} \operatorname{div} \vec{A} + \mu_o \left[ \frac{1}{\ell_{ke}} \int_0^t \vec{E}_\varphi dt + \frac{1}{\rho_i} \vec{E}_\varphi + \varepsilon_o \frac{\partial \vec{E}_\varphi}{\partial t} \right] + \mu_o \frac{1}{\ell_{ke}} \int_0^t (\vec{E}_A + \vec{E}_v) dt + \mu_o \frac{1}{\rho_i} (\vec{E}_A + \vec{E}_v) + \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial (\vec{E}_A + \vec{E}_v)}{\partial t} = -\mu_o \vec{j}_{\text{გარ.}} \quad (26)$$

(12) განტოლების გათვალისწინებით ელექტრომაგნიტური ველის დაკალიბრების დროს კანონით

$$\operatorname{div} \vec{A} = -\frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \int_0^t \varphi dt - \frac{\mu_o}{\rho_i} \varphi - \varepsilon_o \frac{\partial \varphi}{\partial t} \quad (27)$$

(26) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \vec{A} - \frac{\mu_o}{\rho_i} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} + \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \int_0^t [\vec{V} \times r_o t \vec{A}] dt + \frac{\mu_o}{\rho_i} r_o t [\vec{V} \times r_o t \vec{A}] + \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial [\vec{V} \times r_o t \vec{A}]}{\partial t} = -\mu_o \vec{j}_{\text{გარ.}} \quad (28)$$

(24) განტოლებიდან, (27) განტოლების გათვალისწინებით, მივიღებთ:

$$\nabla^2 \varphi - \frac{\partial}{\partial t} \left[ \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \int_0^t \varphi dt + \frac{\mu_o}{\rho_i} \varphi + \varepsilon_o \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right] - \operatorname{div} \vec{E}_v = -\frac{1}{\varepsilon_o} (\rho + \rho_{\text{გარ.}}),$$

$$\text{ან} \quad \nabla^2 \varphi - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \varphi - \frac{\mu_o}{\rho_i} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \operatorname{div} \vec{E}_v = -\frac{1}{\varepsilon_o} (\rho + \rho_{\text{გარ.}}). \quad (29)$$

კერძო შემთხვევაში, როდესაც ელექტრული ველის დაძაბულობა გამორიცხულია,  $\vec{E}_v = 0$  (28) და (29) განტოლება მიიღებს სახეს:

$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \vec{A} - \frac{\mu_o}{\rho_i} \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_o \vec{j}_{\text{გარ.}}; \quad (30)$$

$$\nabla^2 \varphi - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \varphi - \frac{\mu_o}{\rho_i} \frac{\partial \varphi}{\partial t} - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\varepsilon_o} (\rho + \rho_{\text{გარ.}}). \quad (31)$$

თუ დაუშვებთ, რომ  $\vec{j}_e \gg \vec{j}_i$  (30) და (31) განტოლებებიდან მივიღებთ:

$$\nabla^2 \vec{A} - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \vec{A} - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = -\mu_o \vec{j}_{\text{გარ.}}; \quad (32)$$

$$\nabla^2 \varphi - \frac{\mu_o}{\ell_{ke}} \varphi - \mu_o \varepsilon_o \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{1}{\varepsilon_o} (\rho + \rho_{\text{გარ.}}). \quad (33)$$

(32) და (33) განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ  $A$  და  $\varphi$  ჰარმონიული ცვლილებების შემთხვევაში განსაზღვრული სიხშირის დროს დგება დენების რეზონანსი. (32) განტოლების თანახმად რეზონანსის პირობას წარმოადგენს თანაფარდობა:

$$\frac{A}{l_{ke}} + \epsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{A}}{\partial t^2} = 0$$

ან გავითვალისწინებთ, რომ

$$\vec{A} = - \int_0^t \vec{E}_A dt,$$

მივიღებთ

$$\frac{\int_0^t \vec{E}_A dt}{l_{ke}} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}_A}{dt} = 0. \quad (34)$$

$\vec{E}_A$  -ს სინუსოიდური ცვლილების დროს (33) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\frac{1}{\omega_0 l_{ke}} - \epsilon_0 \omega_0 = 0;$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{l_{ke} \epsilon_0}}, \quad (35)$$

სადაც  $\omega_0$  - რეზონანსური სიხშირე.

დაბალი სიხშირის დროს ( $\omega < \omega_0$ )  $E_A$  დამაბულობის ცვლილებისას პლაზმაში მაჯამებელ დენს გააჩნია ინდუქციური ხასიათი და პლაზმა არ ხასიათდება გამოსხივების უნარით.

მაღალი სიხშირის დროს ( $\omega > \omega_0$ ) მაჯამებელ დენს პლაზმაში გააჩნია ტევადური ხასიათი და პლაზმა ასხივებს ელექტრომაგნიტურ ტალღებს.

(33) განტოლების თანახმად, რეზონანსის პირობას წარმოადგენს დამოკიდებულება:

$$\frac{\varphi}{l_{ke}} + \epsilon_0 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = 0,$$

ან

$$\frac{E_\varphi}{l_{ke}} + \epsilon_0 \frac{\partial^2 E_\varphi}{\partial t^2} = 0. \quad (36)$$

$E_\varphi$  სინუსოიდური ცვლილების დროს (36) განტოლებიდან მივიღებთ რეზონანსური  $\omega_0$  სიხშირის მნიშვნელობას, რომელიც ემთხვევა (35) გამოსახულებას.

პლაზმის ელექტრული და მაგნიტური თვისებები განისაზღვრება პლაზმის არჩეულ პარამეტრებთან დამოკიდებულებაში.

პლაზმის განსაზღვრული პარამეტრების შერჩევა არ წარმოადგენს ერთ მნიშვნელოვანს, შესაბამისად პლაზმის ფიზიკური თვისებები ღებულობენ სხვადასხვა ახსნა-განმარტებას.

პლაზმა შეიძლება ჩაითვალოს მაგნიტური, თუ პლაზმაში ინდუქცირებული, დენებს განვიხილავთ დამამაგნიტებელი დენების რიცხვში.

ამ შემთხვევაში განტოლებაში აუცილებელია შევიყვანოთ ფარდობითი მაგნიტური შეღწევადობა  $\mu < 1$ , შედეგად პლაზმა ითვლება დიამაგნიტური არედ.  $\vec{B}$  და  $\vec{H}$  ვექტორებს

შორის დამოკიდებულება ასეთი მიდგომით პლაზმის მაგნიტური შეღწევადობა განისაზღვრება როგორც დიამაგნიტური ნივთიერება:

$$\vec{B} = \mu_0 \mu \vec{H}, \quad \mu \leq 1.$$

პლაზმის გამტარობა განპირობებულია იმით, რომ ის შეიცავს თავისუფალ მუხტებს ელექტრონებისა და იონების სახით, მოძრაობენ ნებისმიერი სახით და წარმოშობენ ელექტრულ დენს. მაგრამ პლაზმა შეიძლება განხილული იქნეს როგორც დიელექტრიკი, შეიცავს დაკავშირებულ მუხტებს მოლეკულური დიპოლების სახით, რომლებიც ელექტრული ველის დაძაბულობის მოქმედებით შეიძლება გადაადგილდეს შეზღუდულ მანძილზე, აღწერილი პოლიარიზაციის ვექტორით.

ამ შემთხვევაში პლაზმა ხასიათდება ფარდობითი დიელექტრიკული შეღწევადობით  $\epsilon' < 1$ . ასეთი მიდგომის დროს  $D$  და  $E$  ვექტორებს შორის დამოკიდებულება განისაზღვრება პლაზმის დიელექტრიკული შეღწევადობით როგორც დიელექტრიკული ნივთიერება:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon' \vec{E}, \quad \epsilon' \leq 1.$$

ასეთი განხილვის დროს პლაზმის ფიზიკური თვისება განისაზღვრება სამი მატერიალური პარამეტრებით:

$\rho$  – ხვედრითი წინაღობა;

$\mu$  – მაგნიტური შეღწევადობა;

$\epsilon$  – დიელექტრიკული შეღწევადობა.

განსხვავებით ზემოთ მოყვანილი პარამეტრებისა, რომელიც განსაზღვრავს პლაზმის ფიზიკურ თვისებას, შემოთავაზებულია ხვედრითი კინეტიკური ინდუქციურობა, რომელიც ითვალისწინებს ელექტრონების ინერციულობას:

$$l_{ke} = \frac{m}{n_e e^2},$$

სადაც  $m$  - ელექტრონის მასა;  $n_e$  - პლაზმაში ელექტრონების კონცენტრაცია;  $e$  - ელექტრონის მუხტი და ხვედრითი კინეტიკური ინდუქციურობა, რომელიც ითვალისწინებს იონების ინერციულობას:

$$l_{ki} = \frac{M}{n_i e_i^2},$$

სადაც  $M$  - იონის მასა;  $n_i$  – პლაზმაში იონების კონცენტრაცია;  $e_i$  - იონის მუხტი.

$l_{ke}$  და  $l_{ki}$  წარმოადგენენ მატერიალურ პარამეტრებს, განსაზღვრული პლაზმის კინეტიკური თვისებებით.

სხვა მატერიალური პარამეტრების რიცხვში ვღებულობთ ხვედრითი წინაღობას, რომელსაც უწევს პლაზმა მოძრავ ელექტრონებს და იონებს, განსაზღვრული გამოსახულებებით:

$$\rho_e = \frac{1}{\tau_e} l_{ke},$$

$$\rho_i = \frac{1}{\tau_j} \ell_{ki},$$

სადაც  $\tau_e, \tau_j$  - ელექტრონებისა და იონების თავისუფალი გარბენის დრო.

შეჯახების გარეშე პლაზმისათვის  $\tau_e = \tau_j = \infty$ ;  $\rho_e = \rho_i = 0$ . ამ შემთხვევაში ერთადერთ მატერიალურ პარამეტრს, განსაზღვრელი ელექტრონებისა და იონების მოძრაობისა, წარმოადგენს ხვედრითი კინეტიკური ინდუქციურობა.

პლაზმის მაგნიტური და დიელექტრიკული თვისებების განსაზღვრისათვის გამოვდივართ იქედან, რომ პლაზმა არ წარმოადგენს მაგნიტურ და დიელექტრიკულ გარემოს. ელექტრომაგნიტური პროცესების აღწერისათვის ვღებულობთ

$$\mu_{კლ} = \mu_0; \epsilon_{კლ} = \epsilon_0.$$

შესაბამისად პლაზმის პარამეტრებად ასეთი მიდგომით წარმოადგენენ მუდმივები  $\mu_0, \epsilon_0$  და მატერიალური პარამეტრები  $\rho, \ell_k$ .

$\mu_0$  - განსაზღვრავს მაგნიტურ ველს, შექმნილი პლაზმაში დენებით როგორც სიცარიელეს არეში;

$\epsilon_0$  - განსაზღვრავს ელექტროსტატიკურ ველს, რომელიც შეიქმნება მუხტებით პლაზმაში როგორც სიცარიელეს არეში;

$\rho$  - განსაზღვრავს დისიპაციური დანაკარგებს ნაწილაკების შეჯახების შედეგად;

$\ell_{ke}, \ell_{ki}$  - განსაზღვრავს პლაზმაში ელექტრონებისა და იონების კინეტიკურ ინერციულ მოძრაობას.

პლაზმის პარამეტრების ასეთი შერჩევით, გამორიცხულია აუცილებლობა განხილვისა პლაზმის მაგნიტური და დიელექტრიკული თვისებების, კერძოდ უარყოფითი დიელექტრიკული შეღწევადობა, რომელსაც არ გააჩნია ფიზიკური შინაარსი.

$\rho_k, \rho, \epsilon_0, \mu_0$  პარამეტრების ერთობლივობა იძლევა შესაძლებლობას გამოკვლევისა, როგორც ერთგვაროვანი, ისე არაერთგვაროვანი პლაზმური არეს ნებისმიერი სიხშირის დროს.

მაღალსიხშირული პლაზმისათვის:

ა)  $\rho \gg \omega \ell_k$ , შეიძლება შემოვიფარგლოთ სამი პარამეტრებით  $\rho, \epsilon_0, \mu_0$  არ ვითვალისწინებთ ელექტრონებისა და იონების ინერციულობას ( $\ell_{ki} = \ell_{ke} = 0$ ).

ბ)  $\omega \ell_k \gg \rho$ , შეიძლება შემოვიფარგლოთ სამი პარამეტრებით  $\ell_k, \mu_0, \epsilon_0$ , არ ვითვალისწინებთ დისიპაციურ დანაკარგებს. დაბალსიხშირული პლაზმისათვის:

ა)  $\rho \gg \omega \ell_k$  შეიძლება არ გავითვალისწინოთ ელექტრონებისა და იონების ინერციულობა და წანაცვლების დენი და შემოვიფარგლოთ ორი პარამეტრით  $\rho, \mu_0$ .

ბ) მუდმივი დენის პლაზმისათვის,  $\omega = 0$ , პლაზმა მაღალი სიმკვრივის ელექტრონებით ნულოვანი დანაკარგებით ავლენს ზეგამტარობის თვისებას,  $\rho = 0$ . ამ შემთხვევაში უნდა გავითვალისწინოთ  $\ell_k, \mu_0$  პარამეტრები.

პლაზმაში ინდუცირებული თავისუფალი მდგენელის, მოცულობითი მუხტის განსაზღვრისათვის ვისარგებლოთ (3) განტოლებით, რომელიც იმ დაშვებით, რომ  $\rho_{გარ} = 0$  დებულობს სახეს:

$$\operatorname{div}(\vec{j}_e + \vec{j}_i) = \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (37)$$

(25) განტოლების გათვალისწინებით (37) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$\operatorname{div}(\vec{j}_e + \vec{j}_i) = \frac{1}{\ell_{ki}} \int_0^t \operatorname{div} \vec{E} + \frac{1}{\rho_i} \operatorname{div} \vec{E} = -\frac{\partial \rho}{\partial t},$$

ან (9) გათვალისწინებით

$$\operatorname{div}(\vec{j}_e + \vec{j}_i) = \frac{1}{\ell_{ki} \epsilon_0} \int_0^t \rho dt + \frac{1}{\rho_i \epsilon_0} \rho = -\frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (38)$$

(38) განტოლება შეიძლება გადავწეროდ შემდეგ სახეში

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{\rho_i \epsilon_0} \rho + \frac{1}{\epsilon_0 \ell_{ki}} \int_0^t \rho dt = 0, \quad (39)$$

ან

$$\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2} + \frac{1}{\rho_i \epsilon_0} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{\epsilon_0 \ell_{ki}} \rho = 0. \quad (40)$$

(40) განტოლებიდან ჩანს, რომ პლაზმაში მიმდინარეობს სწრაფი რელაქსაციური პროცესი. რელაქსაციის დრო განისაზღვრება მილევის კოეფიციენტით  $\frac{1}{\rho_i \epsilon_0}$ . რელაქსაციის დრო  $\tau = \epsilon_0 \rho_i$ .

ანალოგიური სურათი გვექნება  $\vec{j}_i = 0$  შემთხვევისათვის. ამ შემთხვევაში  $\rho_e$  და  $\ell_{ki}$  გათვალისწინებით, ელექტრონების მოცულობითი სიმკვრივის განსაზღვრისათვის გვექნება განტოლება:

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} + \frac{\rho_e}{\ell_{ke}} \frac{d\rho}{dt} + \frac{1}{\epsilon_0 \ell_{ke}} \rho = 0. \quad (41)$$

რელაქსაციის დრო

$$\tau_p = \frac{\ell_{ke}}{\rho_e} = \tau_e, \quad (42)$$

$\tau_e$  - ელექტრონების თავისუფალი გარბენის დრო.

(40) და (42) განტოლებებიდან გამომდინარეობს, რომ პარამეტრების  $\rho_e, \rho_i, \rho_{ke}, \rho_{ki}$  სიდიდეებისაგან დამოკიდებულებაში მოცულობითი მუხტის რელაქსაციის პროცესს შეიძლება ჰქონდეს სწრაფმილეზადი აპერიოდული ან რხევითი-აპერიოდული ხასიათი.

უნდა აღინიშნოს, რომ როდესაც  $\rho_i = \infty$  და  $\rho_e = 0$  განტოლება (40) და (42) მიიღებს სახეს:

$$\frac{d^2 \rho}{dt^2} + \omega_0^2 \rho = 0.$$

აღნიშნულ შემთხვევაში ელექტრონების მოცულობითი სიმკვრივე ირხევა პლაზმის რეზონანსური სიხშირით:

$$\tau_p = \infty, \omega_o = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_o \ell_{ke}}}; \operatorname{div} \vec{D} = \rho_o \sin \omega_o t,$$

$\rho_o$  - მოცულობითი მუხტი, როდესაც  $t=0$ , როგორც ეს მიღებულია პლაზმის თეორიაში დისიპაციური ენერჯის გათვალისწინების გარეშე.

#### ლიტერატურა

1. კობრიძე თ. ლაზერულ-პლაზმური მაჩქარებლები ელექტრონული თერაპიისათვის/ენერჯია. №3(91). 2019. თბილისი. გვ.75-78.
2. კობრიძე თ. ერთგვაროვანი ლაზერულ-პლაზმური მაჩქარებლები ელექტრონული თერაპიისათვის/ენერჯია. №3(91). 2019. თბილისი. გვ.72-74.
3. Лутидзе Ш.И. Кинетическая фазовая теория электромагнитных полей и электрических цепей/«Инженерная физика». №2. 2005.

#### MATHEMATICAL MODEL OF LASER-PLASMA ACCELERATOR.

*T. Kokhreidze.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 17-24. geo. sum geo. engl. rus.

There is discussed laser-plasma accelerator for hadronic therapy. The energy source presents bunch of powerful laser electrons or protons, but the role of accelerator presents plasma. Particles acceleration realizes in plasma with wake waves, which move in plasma with speed-of-light. There is allowed mathematical model for laser-kinetic high-frequency plasma and made numeral connection among plasma parameters, flow densities and magnetic and electronic fields tensions.

*Bibl.3.*

#### МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ.

*T.Кохреидзе.*

"Энергия". №4 (108). 2023. Тбилиси. с. 17-24. груз. реф. англ., рус.

Рассматриваются лазерно-плазменные ускорители для адронной терапии. Источником энергии является мощный пучок лазера, электронный или протонный пучок, а ускоряющей «структурой» служит плазма. Ускорение частиц в плазменных ускорителях осуществляется кильватерной волной, которая перемещается в плазме со скоростью света. Разработана математическая модель для лазерно-кинетической высокочастотной плазмы и установлена количественная связь между параметрами плазмы, плотностями токов и напряжениями электрических и магнитных полей.

*Лит. 3 наз.*



მუდმივი დენის გადამცემის ერთ ბოგირა ნახევარ წრედის ექვივალენტური სქემა და გარე მახასიათებლების აგება ელექტრული ენერჯის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში

გივი კობრიძე - ტექნ.მეცნ.კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, დამსახურებული პროფესორ-ემერიტუსი

E-mail: [gmgmgkf@mail.ru](mailto:gmgmgkf@mail.ru)

ზვიად გაჩეჩილაძე - აკადემიური დოქტორი

E-mail: [zviad.gachechiladze@gse.com.ge](mailto:zviad.gachechiladze@gse.com.ge)

ნანა ბერაძე - ტექნ.მეცნ.კანდიდატი, აკადემიური დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი

E-mail: [beradzenana@gmail.com](mailto:beradzenana@gmail.com)

გოჩა კობრიძე - ინჟინერ-ენერგეტიკოსი

E-mail: [gocha.kokhraidze@gse.com.ge](mailto:gocha.kokhraidze@gse.com.ge)

გალინა ქადაგიშვილი - აკადემიური დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი

E-mail: [g.qadagishvili26@gmail.com01](mailto:g.qadagishvili26@gmail.com01)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. წარმოდგენილია IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული გადამცემი ხაზის ელექტრული სქემა [1]. მისი ქვედა მეორე ნახევარი წრედის კაპიტალური რემონტში ჩაყენების შემთხვევაში ექსპლუატაციაში რჩება ზედა ერთ ბოგირა ნახევარი წრედი, რომელიც წარმოადგენს ძირითადი ერთ ბოგირა ნახევარ წრედის ექვივალენტურ სქემას. ჩატარებული სამუშაოების შედეგად აგებული იქნა მიღებული სქემის ექსპლუატაციისას მისი გარე მახასიათებლები ელექტრო-ენერჯის აღრიცხვიანობისა და დამყარებული პროცესების ოპტიმალური რეგულირების სხვადასხვა რეჟიმებში. სამუშაოში განიხილება შემდეგი რეჟიმები: ყველა რეგულატორების გარეშე სქემის მუშაობა; ინვერტორის ჩაქრობის კუთხის რეგულატორის არსებობისას მუშაობა; გამმართველი დენის რეგულატორით და ინვერტორის ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორით მუშაობა. აგებულია შესაბამისი გარე მახასიათებლები, რომლებიც გვიჩვენებენ მინიმალური დენის რეგულატორის გამოყენების აუცილებლობას და აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესებას.

საკვანძო სიტყვები: IGBT- ტრანზისტორული მოდულები, გამმართველი, ინვერტორი, სამფაზა ტრანსფორმატორები, დენის რეგულატორი, ჩაქრობის კუთხის რეგულატორი, გარე მახასიათებელი.

სამეცნიერო-საინჟინრო გამოქვეყნებული ნაშრომის [1] ნახ. 3-ში გამმართველი ქვესადგურებისათვის გათვალისწინებულია: დენის რეგულატორი (დრ), დაყენების მოწყობილობა (დმ), IGBT-ტრანზისტორული მოდულების მართვის სისტემა (მს); ინვერტორული ქვესადგურებისათვის გათვალისწინებულია: ტრანზისტორული მოდულებისათვის ჩაქრობის კუთხის რეგულატორი (ჩკრ), მინიმალური დენის რეგულატორი რეგულატორი (მდრ), ტრანზისტორული მოდულების მართვის სისტემა შესაბამისი იმპულსური მართვის ალგორითმებით (მს).

მუდმივი დენის გადამცემის (მდგ) ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის გადამუშავებული, გახსნილი პრინციპული ელექტრული სქემა, რომელშიც სქემის გამარტივების მიზნით არ არის ნაჩვენები რეგულატორები, მართვის სისტემები და დაყენების მოწყობილობები, წარმოდგენილია ნახ. 1-ზე.

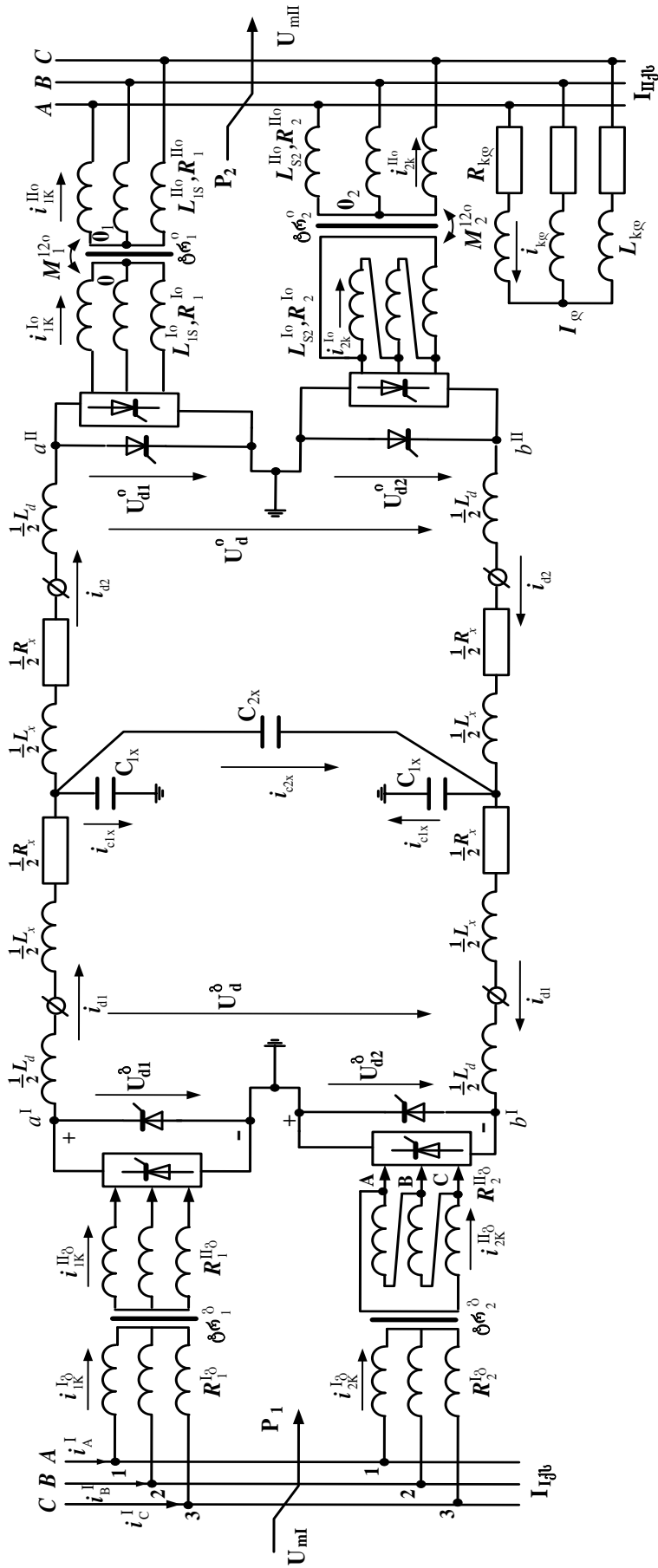
ჩვენ ვიხილავთ შემთხვევას, როდესაც ნახ. 1-ზე წარმოდგენილ ელექტროსქემაში, კაპიტალური რემონტში ჩაყენების გამო, დაბლოკილია ძირითადი სქემის მეორე ნახევარ წრედი. ამის შედეგად გვრჩება ზედა ერთ ბოგირა მუდმივი დენის გადამცემი ხაზის ელექტრული წრედის პრინციპული სქემა, რომლის ნახაზის სახით წარმოდგენა ამ ეტაპზე არ ჩავთვალეთ აუცილებელი. მიღებული ერთ ბოგირა ნახევარი წრედის ელექტრულ სქემაში (ნახ. 1) გათვალისწინებულია გადამცემი მაღალი  $U_{\text{მI}}$ -ძაბვის ქსელი, გამმართველის ძალოვანი ტრანსფორმატორი, ბოგირული გამმართველი აგრეგატი თავისი მახლოკირებელი ტირისტორით, მუდმივი დენის ზედა ნახევარი წრედში ჩართული რეაქტორების ინდუქციურობები და აქტიური წინაღობები; ინვერტორული აგრეგატი თავისი მახლოკირებელი ტირისტორებით, ინვერტორული ქვესადგურის ძალური სამფაზა ტრანსფორმატორი შესაბამისი აქტიური და ინდუქციური პარამეტრებით, მიმღები მაღალი  $U_{\text{მII}}$ -ძაბვის სამფაზა ქსელი; ხაზის დასაწყისში და ბოლოში გათვალისწინებულია  $U_{\text{ა1}}, U_{\text{ა1}}^{\circ}$ -მუდმივი ძაბვები.

$E_d^{\beta}$  და  $E_d^{\circ}$  სიდიდეები ერთმნიშვნელოვნად განისაზღვრებიან გადამცემი და მიმღები სისტემების ძაბვათა დონეებით (ორთავე ქვესადგურის მთავარი ტრანსფორმატორის ტრანსფორმაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობების მოცემის შემთხვევაში).

განხილულ შემთხვევაში, როცა მუშაობს ერთი ნახევარწრედი  $R_b$ -ში შედის ხაზის ერთი პოლუსის სადენების, ორთავე დამამიწებელი ხაზების და ორი ხაზური რეაქტორების (მუშა დამიწების და მიწის წინაღობები შეიძლება უგულვებელვყოთ) წინაღობები.

გამოქვეყნებული სტატიის [1] (3), (4) გარე მახასიათებლიდან გამომდინარე, გამმართველი შეიძლება განხილულ იქნას როგორც  $E_d^{\beta}$ -ე.მ. ძალიანი მუდმივი დენის გენერატორი; ხოლო მისი შიგა წინაღობა არის  $R^{\beta} = \frac{3}{\pi} x_{\gamma}^{\beta}$ ; ინვერტორი კი – როგორც

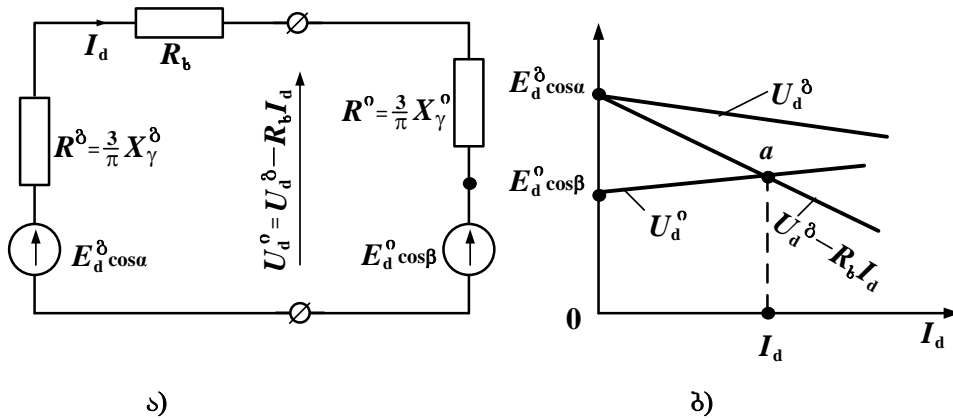
ძრავა  $E_d^{\circ} \cos \beta$  შემხვედრი ე.მ. ძალით და შიგა წინაღობით  $R^{\circ} = \frac{3}{\pi} x_{\gamma}^{\circ}$ . განხილულ შემთხვევაში იგულისხმება, რომ არსებობს ერთი ნახევარ წრედი ერთი ბოგირით,



ნახ. 1. ერთიანი გარდამქმნელი სისტემის გადამუშავებული პრინციპული ელექტროსქემა

რეგულატორები გამორთულია, გამმართველი და ინვერტორი იღებიან შესაბამისად  $\alpha$  და  $\beta$  კუთხით ( $\alpha + \beta = \pi$ ).

დამყარებულ რეჟიმში შეიძლება აგებული იქნას მდგ-ის ექვივალენტური სქემა განხილულ შემთხვევისათვის (ნახ. 2,ა).



ნახ. 2. ერთბოგირა ნახევარწრედის ექვივალენტური სქემა (ა), და მახასიათებლები (ბ) რეგულატორის გარეშე მუშაობისას

მდგ-ის ნახევარწრედის დენის გასაგებად შეიძლება ამოვხსნათ გრაფიკული ამოცანა, როგორც ნახ. 2, ბ-ზე არის წარმოდგენილი.  $U_d^o = f(I_d)$  და  $U_d^delta - R_b I_b = f(I_d)$  მახასიათებლების გადაკვეთა განსაზღვრავს გადაცემის მუშაობის დამახასიათებელ  $a$  წერტილს. ასეთი გრაფიკი საშუალებას იძლევა გარეგნულად ვიმსჯელოთ იმაზე, თუ ცალკეული სიდიდეების ( $\alpha$  და  $\beta$  კუთხეების) ცვლილება როგორ იწვევს მუშა  $a$ -წერტილის გადაადგილებას და, შესაბამისად იწვევს გადაცემის რეჟიმისა და დენის ცვლილებას. გრაფიკი (ნახ. 2,ბ) საშუალებას იძლევა გაკეთდეს დასკვნა, რომ მოცემული სისტემა (გადაცემის ნახევარ წრედი) მდგრადია  $a$ -წერტილიდან. რაიმე შემთხვევითი გადახრა იწვევს ძაბვათა ისეთ სხვაობას, რომელიც სისტემას აბრუნებს ისევ ამ წერტილში [2].

დამყარებულ რეჟიმში  $I_d$ -დენის გასაანგარიშებელი (6) განტოლება [1] და ნახ. 2,ბ გრაფიკი განსაზღვრავს სხვადასხვა სიდიდეებს შორის დამოკიდებულებებს. თითოეული ეს სიდიდეები წარმოადგენენ დამოუკიდებელ ცვლადებს: კონკრეტული სქემისათვის ესენი არიან  $\alpha$  და  $\beta$  კუთხეები და  $E_d^delta$  და  $E_d^o$  ე.მ. ძალები. ამიტომ (6) განტოლება [1] და ნახ. 2,ბ მახასიათებლები ვარგისი არიან არა მარტო  $I_d$ -დენის განსაზღვრისათვის, არამედ სხვა ამოცანის გადაწყვეტისათვისაც, მაგალითად, როგორი

$\alpha$  – კუთხე დაყენდეს გამმართველზე, რომ სხვა ცნობილ პირობებში ნახევარ წრედში გადიოდეს მოცემული  $I_d$ - დენი.

განვიხილოთ რეჟიმი, როდესაც გვაქვს ერთი ბოგირიანი ერთი ნახევარ წრედი, გამმართველი მუშაობს დენის რეგულატორის გარეშე, ხოლო ინვერტორზე მოქმედებს ჩკრ.

დავუშვათ, რომ ინვერტორი, როგორც ამას ჩვეულებრივად აქვს ადგილი, მუშაობს  $\beta < 60^\circ$  პირობებში. მაშინ ინვერტორს, ჩკრ-ით მომუშავეს, მუდმივი ჩაკეტვის ( $\delta = const$ ) კუთხის პირობებში აქვს ასეთი გარე მახასიათებელი:

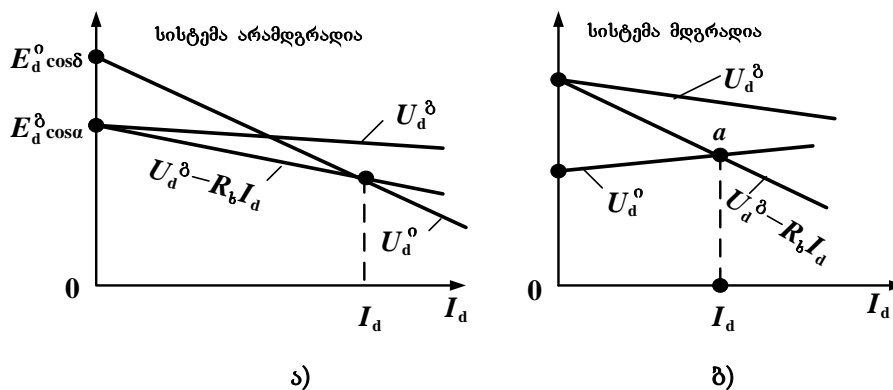
$$U_d^o = E_d^o \cos \delta - \frac{3}{\pi} x_\gamma^o I_d. \quad (1)$$

უნდა აღინიშნოს, რომ წინამდებარე სტატიაში შესაბამისი ფორმულების ნუმერაცია წარმოებს გამოქვეყნებული [1]-ში არსებული ფორმულების ნუმერაციის გაგრძელებით.

გამმართველისათვის გარე მახასიათებელი განისაზღვრება (3) განტოლებით. (3), (1) განტოლებები ჩავსვათ (2)-ში, მივიღებთ

$$I_d = \frac{E_d^\beta \cos \alpha - E_d^o \cos \delta}{R_b + \frac{3}{\pi} x_\gamma^\beta - \frac{3}{\pi} x_\gamma^o}. \quad (2)$$

მდგ-ის წინა რეჟიმის ვარიანტისაგან პრინციპული განსხვავება მდგომარეობს იმაში, რომ ინვერტორის ძაბვა, როდესაც  $\delta = const$ , არ იზრდება, არამედ დატვირთვის დენის ზრდასთან ერთად მცირდება (ნახ. 3).



ნახ. 3. მდგ-ის მახასიათებლები ინვერტორის ჩკრ-ით მუშაობისას, გამმართველის კი – დრ-ის გარეშე

ამის გამო ინვერტორი, როგორც ენერჯის მიმღები, შეიძენს უარყოფით შიგა წინაღობას  $R^o = -\frac{3}{\pi} x_\gamma^o$  და აღიძვრება საშიშროება, რომ სისტემა აღმოჩნდება არამდგრადი.

სისტემის მდგრადობის საკითხი შეიძლება დაზუსტდეს ნახ. 3, ბ-ზე წარმოდგენილი მახასიათებლების საფუძველზე. მარცხენა გრაფიკი განეკუთვნება შემთხვევას, როცა სისტემა არამდგრადია: აქ ინვერტორის გარემახასიათებლის დახრა მეტია  $U_d^\beta - R_b I_b = f(I_d)$  მახასიათებლის დახრაზე და ამიტომ  $a$  წერტილიდან ნებისმიერი შემთხვევითი გადახრა გამოიწვევს დენის შემდგომი ან გარზრდას, ან სხვა მიმართულებით გადახრისას მისი ნულამდე დაცემას. მარჯვენა გრაფიკზე ამ მახასიათებლების დახრათა თანაფარდობა ურთიერთსაწინააღმდეგოა და ამიტომ სისტემა მდგრადია.

აღნიშნული მდგომარეობა შეიძლება წარმოდგენილ იქნას (2) განტოლების საფუძველზე შემდეგ ფორმაში: მდგ შეიძლება მუშაობდეს რეგულირებადი ინვერტორით ( $\delta = const$ ) და არარეგულირებადი გამმართველით ( $\alpha = const$ ) მხოლოდ

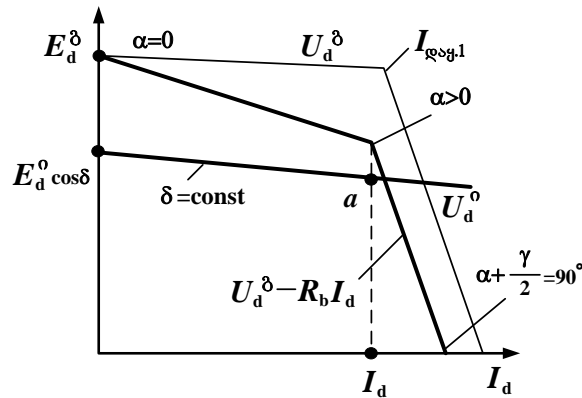
$$R_b + \frac{3}{\pi} x_\gamma^\beta - \frac{3}{\pi} x_\gamma^o > 0. \quad (3)$$

(3) პირობის დაცვის შემთხვევაში. წინააღმდეგ შემთხვევაში სისტემა აღმოჩნდება არამდგრადი.

მდგ-ის განხილული ვარიანტი შეიძლება პრაქტიკულად აღიძვრას არა მართვადი ვენტილებიანი გამმართველით მომუშავე არა რევერსიული გადაცემისას. ამ დროს შეიძლება შენარჩულებული იქნას ჩვეულებრივად გამოყენებული ინვერტორის რეგულირება, თუ მისი უარყოფითი შიგა წინაღობა  $R^o$  იქნება  $R_b + R^\beta$  წინაღობათა ჯამზე მცირე, რაც უნდა შესრულდეს, განსაკუთრებით მუდმივი დენის საკმაოდ გრძელი ხაზისას ( $|R^o| \approx R^\beta$ ).

განვიხილოთ შემთხვევა, თუ როგორ მუშაობს მდგ, როდესაც ორთავე ქვესადგურზე მოქმედებენ ავტომატური რეგულირების ყველა ძირითადი მოწყობილობები: გამმართველზე – დენის რეგულატორი (დრ), ინვერტორზე – ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორი (ჩკრ) ან მინიმალური დენის რეგულატორი (მდრ).

ინვერტორის ორი რეგულატორიდან ნორმალურ პირობებში მოქმედებს ჩკრ. ჯერ შევჩერდეთ გადაცემის მუშაობაზე, როცა გამმართველი რეგულირდება დენის მოცემული სიდიდის შენარჩუნებაზე. შესაბამისი მახასიათებლები მოყვანილია ნახ. 4-ზე.

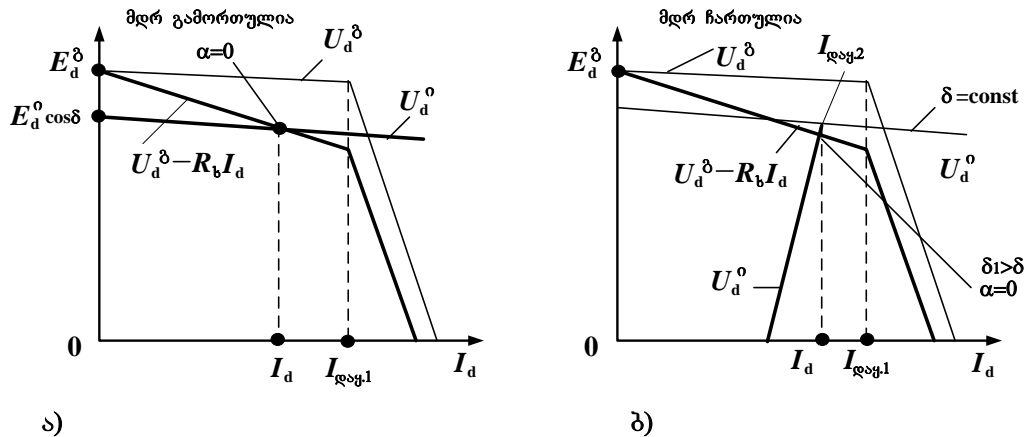


ნახ. 4. მდგ-ის მახასიათებლები გამმართველის დენის რეგულატორით მუშაობისას და ინვერტორის ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორის მუშაობისას

გამმართველის გარე მახასიათებელი დენის რეგულატორის მოქმედებისას დებულობს ისეთ სახეს, როგორც ეს ჩანს წვრილი ხაზით. დრ-ის მუშაობა თავს იჩენს, როცა გამმართველის გადაცემის  $I_d$  დენი გახდება მისი  $I_{ღაყ.1}$  დაყენების დენზე ცოტა ნაკლები. დრ-ის დენის გაზრდისას უეცრად იზრდება ტირისტორის გაღების  $\alpha$  -კუთხე, ამცირებს გამმართველის  $U_d^\delta$  ძაბვას და ამით იჭერს დენს დაყენების დენის სიდიდესთან ახლოს. ამის შედეგად გამმართველის გარე მახასიათებელი  $I_d > I_{ღაყ.1}$  საზღვრებში თითქმის ვერტიკალურია. დენის შემცირებისას რეგულატორი ამცირებს  $\alpha$  -კუთხეს, ზრდის  $U_d^\delta$  და აგრეთვე იჭერს დენს  $I_d \approx I_{ღაყ.1}$  სიდიდით. ერთის მხრივ ამ მიმართულებით დრ-ს აქვს შეზღუდული შესაძლებლობა. თუ რაიმე მიზეზით გადაცემის დენი შემცირდება დაყენების დენამდე  $I_d = I_{ღაყ.1}$ , მაშინ დრ  $\alpha$  -კუთხეს ამცირებს ნულამდე (გარე მახასიათებლების გარდატეხის წერტილი). დენის შემდგომი შემცირებისას დრ-ს არ შეუძლია იმოქმედოს (მან ამოწურა თავისი შესაძლებლობა  $\alpha = 0$ -ის დაყენებით) და ამიტომ  $I_d < I_{ღაყ.1}$  საზღვრებში  $U_d^\delta$  ძაბვა იცვლება არამართვადი გამმართველის გარე მახასიათებლის მსგავსად.

ვიციტ, რა დრ-ს მოქმედებისას გამმართველის გარე მახასიათებელი, ვაგებთ მის შესაბამის მახასიათებელს  $U_d^\delta - R_b I_b = f(I_d)$  (ნახ. 5). მუშა  $a$  - წერტილი იმყოფება ამ უკანასკნელი მახასიათებლის ინვერტორის გარე მახასიათებელთან გადაკვეთაზე.

ინვერტორი რეგულირდება ჩაკეტვის კუთხის მუდმივობაზე. როგორც ჩანს, გადაცემის დენი ახლოსაა დრ-ის დაყენების დენთან.



ნახ. 5. მახასიათებლები, რომლებიც გვიჩვენებენ მინიმალური დენის რეგულატორის გამოყენების ეფექტურობას

მუშა *a* წერტილში ინვერტორი მუშაობს მოცემული ჩაკეტვის კუთხით – მისი მდგრადობის პირობიდან გამომდინარე მინიმალური დასაშვები სიდიდით (ჩვეულებრივ ჩკრ იჭერს  $\delta = 15^\circ = const$ ), გამმართველი მუშაობს  $\alpha \approx 10^\circ$  კუთხით. ეს უკანასკნელი აუცილებელია იმისათვის, რომ დრ-ს ჰქონდეს რაიმე მოქმედების ზონა გამმართველის ძაბვის გაზრდის მიმართულებით. გადაცემის მუშაობის რეჟიმი მცირე  $\alpha$  და  $\delta$  კუთხეებით არის ტექნიკურ-ეკონომიკური თვალსაზრისით ოპტიმალური, ვინაიდან გამმართველი და ინვერტორი მოითხოვენ უმცირეს რეაქტიულ სიმძლავრეს, ხოლო გადაცემას აქვს უმეტესი ძაბვა და შესაბამისად სიმძლავრის მინიმალური ფარდობითი დანაკარგები.

მდგ-ის მუშაობისას დენის რეგულატორით დენის სიდიდე განისაზღვრება მისი დაყენებით. (2) განტოლება რჩება ძალაში და შეიძლება გამოყენებული იყოს მასში შემავალი სხვა სიდიდეების გასაანგარიშებლად, მაგალითად  $\alpha$ -კუთხის, რომელიც დაყენდება დენის რეგულატორით.

გადავიდეთ ეხლა მინიმალური დენის რეგულატორის (მდრ) დანიშნულების საკითხზე. ამისათვის განვიხილოთ, რა მოხდება გამმართველის  $E_d^\delta$  ე.მ. ძალის შემცირებისას, გამოწვეულს ცვლადი დენის გადამცემი სისტემის ძაბვის შესაბამისი შემცირების შედეგად. ამ შემთხვევის გარე მახასიათებლები აგებულია ნახ. 5-ზე: მარცხნივ – მდრ-ის გარეშე ინვერტორის მუშაობისას, მარჯვნივ – მდრ-ის მოქმედებისას. მდრ-ის არ არსებობისას  $E_d^\delta$ -ის მცირე ვარდნა იწვევს გადაცემის დენის



უეცარ შემცირებას.  $E_d^\beta \leq E_d^\alpha \cos \delta$  პირობისას დენი ვარდება ნულამდე და გადაცემა წყდება.

მდრ ზღუდავს გადაცემის დენის შესაძლო დავარდნას და გამორიცხავს მის ჩაკეტვას გამმართველის  $E_d^\beta$ , ე.მ. ძალის შემცირების გამო. როგორც მარჯვენა გრაფიკიდან ჩანს (ნახ. 5,ბ), მდრ შედის მუშაობაში, როცა გადაცემის დენი მცირდება მისი დაყენების  $I_{\text{დაყ2}}$  – დენამდე.  $I_{\text{დაყ2}} - I_d$  გადახრისას მდრ ზრდის ტირისტორის წინსწრების  $\beta$  კუთხეს და ამით ამცირებს ინვერტორის  $U_d^\alpha$  ძაბვას – ინვერტორის გარე მახასიათებელი იღებს მკვეთრ, დაახლოებით ვერტიკალურ დახრას. მუშა წერტილი, როგორც წინა შემთხვევაში ძევს  $U_d^\alpha = f(I_d)$  და  $U_d^\beta - R_b I_d = f(I_d)$  მახასიათებლების გადაკვეთაზე. ამ წერტილში რეჟიმი ხასიათდება გადაცემის დენით, რომელიც ახლოსაა მდრ-ის დაყენების დენთან ( $I_{\text{დაყ2}}$ ),  $\alpha = 0$  კუთხით და ჩაკეტვის  $\delta_1$  კუთხით, რომელიც მით მეტია  $\delta$  კუთხეზე, დაჭერილი ჩკრ-ის მუშაობისას, რამდენადაც ქვემოთაა განლაგებული  $\alpha$ -წერტილი.

ინვერტორის გარე მახასიათებლიდან მდრ-ის მოქმედებისას ჩანს, რომ თითქმის გამმართველის ე.მ.მ-ის დიდი შემცირებისას გადაცემის დენი რჩება დაყენების  $I_{\text{დაყ2}}$  დენის ახლოს.

მდრ-ის დაყენების დენი  $I_{\text{დაყ2}}$  ჩვეულებრივ აირჩევა  $0,9 I_{\text{დაყ1}}$  -ის ტოლი.  $I_{\text{დაყ1}}$  -ის ცვლილება უნდა ხასიათდებოდეს  $I_{\text{დაყ2}}$  -ის ცვლილებით, რაც განხორციელდება ავტომატურად.

განვიხილოთ შემთხვევა (ნახ. 3) [1], როდესაც გვაქვს ბოგირების სრული რიცხვი, გამმართველებზე მოქმედებს დენის რეგულატორი (დრ), ხოლო ინვერტორებზე ჩაკეტვის კუთხის რეგულატორი (ჩკრ) და მინიმალური დენის რეგულატორი (მდრ).

განვიხილოთ ჩვეულებრივი შემთხვევა, როცა ორთავე ნახევარწრედი დატვირთულია ერთნაირი დენით და ამიტომ მიწაში დენი არ გადის. ამ შემთხვევაში  $R_b$  წინააღობაში შედის: ხაზის ორთავე პოლუსის სადენების წინააღობა და ხაზის ბოლოებში ოთხი რეაქტორის წინააღობები.

აღვნიშნოთ:  $R_\beta$  – ყველა ბოგირის გამმართველის შიგა წინააღობა, განსაზღვრული მისი გარე მახასიათებლის დახრით, როცა  $\alpha = const$ ;  $R_o$  – შიგა წინააღობა

ინვერტორისათვის, როდესაც  $\delta = \text{const} (R_o < 0)$ ;  $E_d^\beta$  – გამმართველის ე.მ. ძალა, როდესაც  $\alpha = 0$ ;  $E_d^\alpha$  – ინვერტორის ე.მ. ძალა, როდესაც  $\delta = 0$ .

დავუშვათ პირველად, რომ გადაცემის ორთავე ქვესადგურის ცვლადი დენის სალტებზე მიერთებულია საკმარისად მძლავრი კონდენსატორული ბატარეები – დენის მაღალი ჰარმონიკის ფილტრი. ამ შემთხვევაში შეიძლება გათვალისწინებული არ იქნას სისტემის ინდუქციური წინაღობა და ბოგირებს შორის ურთიერთ გავლენის კოეფიციენტი ნულის ტოლია. თითოეული ბოგირული გარდამქმნელი მუშაობს დამოუკიდებლად 2- რეჟიმში (ღიაა ორი ტირისტორი, ან 3 ტირისტორი) ამიტომ გვაქვს:

$$\left. \begin{aligned} R_\beta &= \frac{3}{\pi} x_\gamma^\beta, R_o = -\frac{3}{\pi} x_\gamma^\alpha, \\ E_d^\beta &= \frac{3}{\pi} \sqrt{3} E_{2m}^\beta; E_d^\alpha = \frac{3}{\pi} \sqrt{3} E_{2m}^\alpha. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ქვესადგურების რეგულატორებით მუშაობისას სამართლიანია ნახ. 4 და 5-ზე ნაჩვენები მახასიათებლები. მდგ-ის რეჟიმის განმსაზღვრელი განტოლებები ანალოგიური იქნება (3) განტოლების და (4) გამოსახულებების გათვალისწინებით:

$$E_d^\beta \cos \alpha - E_d^\alpha \cos \delta - (R_b + R_\beta + R_o) I_d = 0. \quad (5)$$

გავიგოთ  $I_d$  დენის ფარდობითი ერთეულებში რა დიაპაზონში ძვეს გარდამქმნელების მუშა რეჟიმები. ამისათვის საჭიროა შეფასდეს ნომინალური დენი ფარდობითი ერთეულებში:

$$I_{d\delta^*} = \frac{I_{d\delta}}{I_{\delta\delta}} = \frac{I_{d\delta} X_\gamma}{E_{2m}}$$

გავითვალისწინოთ მხოლოდ ძირითადი მდგენელი – ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის ინდუქციური წინაღობა  $X_\gamma$ .

$$X_\gamma = X_{\delta\delta} = \frac{X_{\delta\delta} \%}{100} \cdot \frac{E_2^2}{S} = \frac{X_{\delta\delta} \% E_2^2}{100 E_2 I_{2\delta}} = \frac{X_{\delta\delta} \% E_{2m}}{100 \sqrt{2} I_{2\delta}}$$

$X_\gamma$ -ს ეს მნიშვნელობა ჩავსვათ  $I_{d\delta^*}$ -ის გამოსახულებაში, მივიღებთ

$$I_{d\delta^*} \approx \frac{X_{\delta\delta} \%}{100} \cdot \frac{I_{d\delta}}{\sqrt{2} I_{2\delta}}$$

ტრანსფორმატორის მეორადი დენის მომქმედი მნიშვნელობასა და გამართულ დენს შორის კავშირი განისაზღვრება განტოლებით;

$$I_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} I_d \sqrt{1 - \frac{\gamma}{2\pi}}$$

ნომინალური დენის შემთხვევაში კომუტაციის  $\beta$  - კუთხე ტოლია  $20-30^\circ$ -ის (მართვადი ტირისტორების შემთხვევაში), ხოლო  $\beta$  - კუთხე ტოლია ნულის (IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემთხვევაში); მაშინ პირველ შემთხვევაში  $I_{26} = (0,78 \div 0,79) I_{\text{გ6}}$ .  $I_{26}$ -ის ეს მნიშვნელობა ჩავსვით  $I_{\text{გ6}^*}$ -ის ბოლო გამოსახულებაში და საბოლოოდ მივიღებთ:

$$I_{26} \approx \frac{X_T \%}{1,1 \cdot 100}.$$

მაღალი ძაბვის გარდამქმნელ დანადგარებში ტრანსფორმატორის მოკლე შერთვის ინდუქციური წინაღობა  $X_T \% = 15 \div 25\%$ , ამიტომ გარდამქმნელის დენის ნორმალური მნიშვნელობა ფარდობითი ერთეულებში შეიძლება მდებარეობდეს ასეთ საზღვრებში:  $I_{\text{გ6}^*} = 0,13 \div 0,23$ . დასაშვები ხანგრძლივი გადატვირთვა შეიძლება იყოს  $15-30\%$ -ით მეტი, ე.ი. შეიძლება მივიღოთ  $I_{\text{გ6}^*} = 0,17 \div 0,3$  მნიშვნელობამდე. უმცირესი დენები ჩვეულებრივ შეადგენენ  $0,3 I_{\text{გ6}^*}$  -ს. ე.ი. ისინი ტოლია  $0,04-0,08$ -ის. ამგვარად, მუშა დენის შესაძლო დიაპაზონი სხვადასხვა გარდამქმნელებისათვის (სხვადასხვა  $X_{\text{ტრ}}$ ) მდებარეობს საორიენტაციოდ საზღვრებში  $I_{\text{გ6}^*} = 0,04$ -დან  $I_{\text{გ6}^*} = 0,3$ -მდე.

წარმოდგენილი სამუშაო ჩატარდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ელექტროენერგეტიკის სამეცნიერო-საინჟინრო ცენტრში და საქართველოს რკინიგზის ელექტრომომარაგების დეპარტამენტის ტექნიკური განვითარების ცენტრში [1, 3].

განხილული ეტაპობრივი სამუშაოები განეკუთვნებიან „ენერგეტიკა და ელექტროინჟინერია, შიფრი: 0405“ - სამეცნიერო-საინჟინრო პროგრამას.

### ლიტერატურა

1. გ.კობრიძე, ზ. გაჩეჩილაძე, ნ.ბერაძე, გოჩა კობრიძე. IGBT-ტრანზისტორული მოდულების შემცველი ორ ბოგირა გარდამქმნელებიანი მუდმივი დენის ბიპოლარული ხაზით ენერჯის გადაცემის პრინციპული ელექტრული სქემის დამუშავება ელექტრული ენერჯის აღრიცხვიანობის ეფექტურობის გაუმჯობესების პირობებში/ ენერჯია. №2(106). 2023. თბილისი.
2. Поссе А.В. Схемы и режимы электропередач постоянного тока/Энергия. Ленинградское отделение. 1973. с.150-193.
3. გ.კობრიძე, გოჩა კობრიძე, ნ.ბერაძე, გ. მურჯიკნელი, ი. ყურაშვილი. სარკინიგზო ელექტრული ტრანსპორტის ელექტრომომარაგების გარდამქმნელ სისტემაში დინამიკური პროცესების საანგარიშო ელექტრული სქემის დამუშავება IGBT-ტრანზისტორული მოდულებიანი მართვადი სამფაზა უკუ გამმართველი აგრეგატის გათვალისწინებით/ ენერჯია. №1(105). 2023. თბილისი.

**EQUIVALENT CIRCUIT OF A SINGLE-BRIDGE SEMICHAIN OF DC TRANSMISSION AND CONSTRUCTION OF EXTERNAL CHARACTERISTICS IN DIFFERENT MODES OF OPTIMAL CONTROL OF ELECTRIC ENERGY ACCOUNTING AND TIME-INDEPENDENT PROCESS.**

*G. Kokhreidze, Z. Gachechiladze, N. Beradze, Gocha Kokhreidze, G. Kadagishvili.*

“Energy”. №4(108). 2023. Tbilisi. p. 25-36. geo. sum geo. engl.rus.

The scientific-engineering paper represents an electrical circuit of a bipolar DC transmission line consisting of two-bridge converters with IGBT transistor modules [1]. In the event that its second lower semichain is taken out for major repairs, only the upper single-bridge semichain remains in operation, which is an equivalent circuit of the main single-bridge semichain. As a result of the work, during the operation of the resulting circuit, external characteristics were built in different modes of optimal control of electric energy accounting and time-independent process. The work considers the following modes: operation of the circuit without all regulators; work with the existence of the inverter extinction angle regulator; work with the rectifier current regulator and with the inverter extinction angle regulator. Corresponding external characteristics are built, which show the need to use a minimum current controller and improve the efficiency of accounting.

*Ill. 5, bibl. 3.*

**ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА И ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОМОСТОВОЙ ПОЛУЦЕПИ ПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА В РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ, УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И УСТАНОВИВШИХСЯ ПРОЦЕССОВ.**

*Г.Кохреидзе, З. Гачечиладзе, Н.Берадзе, Гоча Кохреидзе, Г.Кадагшвили*

“Энергия”. № 4(108).2023. Тбилиси. с. 25-36. груз. реф. груз.англ. рус.

В научно-инженерной работе представлена электрическая схема биполярной передающей линии постоянного тока, состоящей из двухмостовых преобразователей с IGBT-транзисторными модулями [1]. В случае выведения второй нижней полuceпи в капитальный ремонт в эксплуатации остается только верхняя одномостовая полuceпь, представляющая собой эквивалентную схему основной одномостовой полuceпи. В результате проведения работ при эксплуатации полученной схемы построены внешние характеристики в разных режимах оптимального регулирования учета электрической энергии и установившихся процессов. В работе рассматриваются следующие режимы: работа схемы без всех регуляторов; работа при существовании регулятора угла погасания инвертора; работа с регулятором выпрямительного тока и с регулятором угла погасания инвертора. Построены соответствующие внешние характеристики, показывающие необходимость использования регулятора минимального тока и улучшения эффективности учета.

*Илл. 5, лит. 3.*

## ინოვაციური კონსტრუქციის სამკამერიანი საყოფაცხოვრებო მაცივარი

ლუიზა პაპავა - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: Papava1949@gmail.com

თამაზ ისაკაძე - ასოცირებული პროფესორი

მარინე რაზმაძე - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: marina.razmadze30@mail.ru

მათე ქობალაია - ბაკალავრიატის სტუდენტი

გივი გუგულაშვილი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: g.gugulashvili@gtu.ge

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. როგორც ცნობილია, წარმოება უშვებს სხვადასხვა მოდელის საყოფაცხოვრებო მაცივრებს: ერთსაკნინი მაცივრები კარადის ზედა ნაწილში განლაგებული დაბალტემპერატურიანი (საყინულე) განყოფილებით და ორსაკნინი მაცივრები, რომელთათვის ერთ შემთხვევაში მაცივარს აქვს ერთი საერთო საორთქლებელი ორ განყოფილებაზე (სამაცივროზე და დაბალტემპერატურიანზე), მეორე შემთხვევაში კი მაცივარს აქვს ორი საორთქლებელი ცალ-ცალკე: ერთი სამაცივრო, ხოლო მეორე – დაბალტემპერატურიანი განყოფილებისათვის. ერთსაკნინ მაცივრებთან შედარებით ორსაკნინი მაცივრების დაბალტემპერატურიანი განყოფილების ზომები გაცილებით მეტია.

სამაცივრო აგრეგატების სქემები შედარებით ნაკლებად იცვლება. ახალი მაცივრების აგრეგატების ძირითად განსხვავებას წარმოადგენს საორთქლებლების გამოყენება ორი, თანამიმდევრულად შეერთებული კლაკნილათი, რომელთაგან ერთი აცივებს დაბალტემპერატურიან განყოფილებას, ხოლო მეორე კი - სამაცივრო განყოფილებას. ზოგიერთ ორსაკნინ მაცივარში, სამაცივრო აგრეგატის შეუცვლელად, საორთქლებელში ჰაერის ბუნებრივი ცირკულაცია შეცვლილია ხელოვნურით.

წარმოდგენილია სამკამერიანი მაცივრის კონსტრუქცია, რაც იძლევა ნებისმიერი სასურსათო პროდუქტის შენახვის შესაძლებლობას. ამ მაცივარში არის: გასაცივებელი, გასაყინი და გაყინული პროდუქტის შესანახი კამერები, რაც მაცივარს ანიჭებს უნივერსალური ტიპის სახეს.

საკვანძო სიტყვები: მაცივარი, საორთქლებელი, კამერა, დაბალ ტემპერატურიანი, საყინულე.

შესავალი

სამაცივრო ტექნიკის განვითარებასთან ერთად დიდი ადგილი ეთმობოდა საყოფაცხოვრებო მაცივრების დიზაინის და კონსტრუქციის დახვეწას. პირველი გამოშვების საყოფაცხოვრებო მაცივრებს ჰქონდათ ერთი კამერა და, რა თქმა უნდა, ერთი კარი. ასეთი მაცივრების საყინულეში ჰაერის ტემპერატურა ტოლი იყო  $-12^{\circ}\text{C}$ , ე.ი. \*\*-ისა (თითო ფიფქი აღნიშნავს  $-6^{\circ}\text{C}$ ). მაგრამ გავიდა დრო და ერთკამერიანი მაცივრები უკვე აღარ აკმაყოფილებდა მოთხოვნებს. შეიქმნა ორკამერიანი მაცივრები, ორი კარებით. საყინულეში კამერის ჰაერის ტემპერატურა ტოლი იყო  $-18^{\circ}\text{C}$ , ე.ი. \*\*\*, ხოლო გასაცივებელ საკანში  $0-4^{\circ}\text{C}$ . უკანასკნელი თაობის მაცივრებიც ორკამერია (საყინულეში კამერის ჰაერის ტემპერატურაა  $-24^{\circ}\text{C}$ , ე.ი. \*\*\*\*, ხოლო გასაცივებელ საკანში  $0^{\circ}\text{C}$ ). დღესდღეობით თითქმის ყველა ცნობილი სამაცივრო ფირმა აწარმოებს

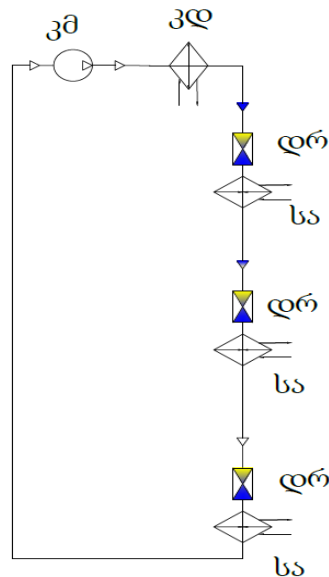
ასეთი ტიპის საყოფაცხოვრებო მაცივრებს. თუ დაგაკვირდებით, გასაცივებელ და გასაყინ საკნებს შორის ტემპერატურული სხვაობა საკმაოდ მაღალია ( $\Delta T = -24K$ ) და სხვადასხვა კვების პროდუქტების ოპტიმალურ პარამეტრებზე შესანახად მუდმივად საჭირო ხდება საყოფაცხოვრებო მაცივრის გადაყვანა შესაბამის რეჟიმებზე, რამაც შესაძლოა არასასურველი გავლენა იქონიოს სამაცივრე აგრეგატზე და ნაადრევად გამოიყვანოს მაცივარი მწყობრიდან.

ძირითადი ნაწილი

წარმოდგენილ საყოფაცხოვრებო მაცივარს აქვს სამი საორთქლებელი: გასაყინ საკანში ჰაერის ტემპერატურაა  $t = -24^{\circ}C$ , გაყინული ტვირთის შესანახ საკანში ჰაერის ტემპერატურაა  $t = -12^{\circ}C$  და გასაცივებელ საკანში ჰაერის ტემპერატურაა  $t = 0^{\circ}C$ . საყოფაცხოვრებო მაცივრის ზედა ნაწილში დამონტაჟებულია გასაყინი საკანი, მის ქვემოთ გაყინული ტვირთის შესანახი საკანი, ხოლო სულ ბოლოს კი - გასაცივებელი საკანი.

სამაცივრე აგრეგატის კონსტრუქცია გამოსახულია ნახ. 1-ზე. კომპრესორი (პოზ. კმ) ჭირხნის მაცივარაგენტს კონდენსატორში (პოზ. კდ), რომელსაც გააჩნია ხელოვნური გაგრილების სისტემა (ვენტილატორი). კონდენსატორში ხდება მაცივარაგენტის ფაზური გადასვლა ორთქლიდან სითხეში და მაცივარაგენტი კონდენსირდება. კონდენსატორიდან თხევადი მაცივარაგენტი გადადის პირველ დროსელურ ხელსაწყოში – კაპილარულ მილში სიგრძით 2 მ. (პოზ.დრ), სადაც მაცივარაგენტის წნევა და ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა და მიემართება პირველ საორთქლებელში (პირველ საყინულეში ჰაერის ტემპერატურა ეცემა  $-24^{\circ}C$ -მდე). როგორც ცნობილია, ყველა საყოფაცხოვრებო მაცივრის საორთქლებელში მთლიანად ხდება თხევადი მაცივარაგენტის სრული გადასვლა აირად ფაზაში. ჩვენს შემთხვევაში კი ფაზურ გადასვლას განიცდის თხევადი მაცივარაგენტის მხოლოდ მესამედი. თხევად ფაზაში მყოფი მაცივარაგენტის  $2/3$  ნაწილი განაგრძობს გზას მეორე დროსელისა მეორე საორთქლებლისაკენ. მეორე დროსელიც, ისევე როგორც პირველი, წარმოდგენს კაპილარულ მილს იგივე შიგა დიამეტრით, რაც პირველი, მხოლოდ მისი სიგრძე შემცირებულია და შეადგენს 90–100 მმ. დროსელირების შემდეგ, კანონით, კამერაში ჰაერის ტემპერატურა უფრო უნდა შემცირდეს, მაგრამ ჩვენს შემთხვევაში კამერის მოცულობა აღებულია ორჯერ დიდი, რაც ამცირებს სიცივის მწარმოებლობას და კამერაში ჰაერის ტემპერატურა მიიღება  $-12^{\circ}C$ . მეორე საორთქლებლიდან გამოსვლის შემდეგ სისტემაში თხევად ფაზაში რჩება მაცივარაგენტის დარჩენილი  $1/3$  ნაწილი. მესამე დროსელი, რომლის სიგრძე მეორე დროსელის სიგრძის ტოლია (90–100 მმ), უერთდება მესამე საორთქლებელს,

რომელიც თითქმის გადახურების ზონაშია. აქ მთავრდება დარჩენილი მაცივარაგენტის სრული ფაზური გადასვლა სითხიდან ორთქლში და ასევე სრულდება გადახურების პროცესი. როგორც ცნობილია, საყოფაცხოვრებო მაცივრებში გადახურების ტემპერატურა ტოლია  $\Delta T_{\text{გადახურება}} = 20 \div 23K$ . ბოლო, მესამე კამერა, ისევე, როგორც მეორე კამერა, მოცულობით ორჯერ აღემატება მის წარმადობას. ამიტომ კამერაში ჰაერის ტემპერატურა მიიღება  $\mp 0^{\circ}\text{C}$ .

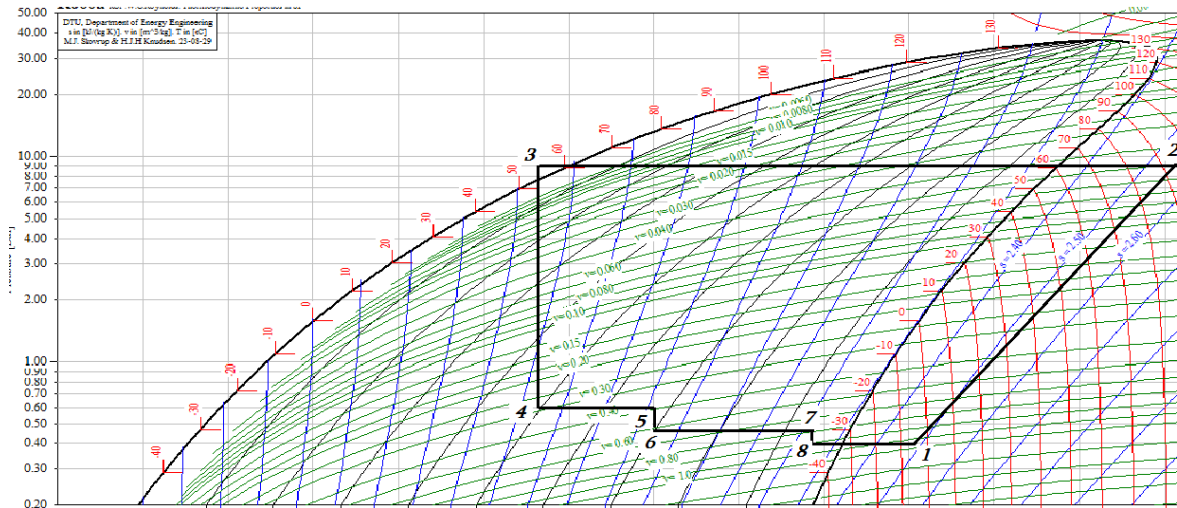


ნახ. 1. სამკამერიანი საყოფაცხოვრებო სამაცივრე აგრეგატის პრინციპული სქემა

სამკამერიანი საყოფაცხოვრებო მაცივრის სამაცივრე ციკლი გამოსახულია I-LgP დიაგრამაზე (ნახ. 2). სამკამერიან მაცივარში მაცივარაგენტად გამოყენებულია იზონესაფროთხო ნივთიერება იზობუტანი R600a.

სამაცივრე ციკლზე თვალნათლივ ჩანს, რომ რადგან მაცივარაგენტად გამოიყენება იზობუტანი, დაჭირხვნის ბოლო წერტილში ავარიული ტემპერატურის მიღება გამორიცხებულია იზობუტანის დაბალი კუმშვის ხარისხის გამო, რაც დამახასიათებელია ხელოვნური მაცივარაგენტებისათვის. დიაგრამაზე აორთქლების ზონა გამოსახულია ტეხილის სახით 4-5-6-7-8-1. აქ თვითეული მონაკვეთი გამოსახავს თითო საორთქლებლის ხვედრით სიცივისმწარმოებლობას. სრული ხვედრითი სიცივისმწარმოებლობა კი ტოლია:

$$q = q_1 + q_2 + q_3.$$



ნახ. 2. სამკამერიანი მაცივრის სამაცივრე ციკლი I-LgP დიაგრამაზე

## დასკვნა

წარმოდგენილი ინოვაციური კონსტრუქციის სამკამერიანი საყოფაცხოვრებო მაცივარი გამოირჩევა კვების პროდუქტების გაყინვის, გაცივებისა და შენახვის უნივერსალური რეჟიმებით. ასეთი ტიპის კონსტრუქცია გაცილებით უფრო საიმედოა მუშაობაში, ვიდრე თანამედროვე კონსტრუქციის მაცივრები. რადგან ასეთ მაცივარში მაცივარაგენტად გამოიყენება ნახშირწყალბადები, ეს იძლევა სისტემაში მინერალური ზეთის გამოყენების საშუალებას ნაცვლად ძვირადღირებული სინთეტიკური ზეთისა და, რაც მთავარია, სამივე კამერა იმართება ერთი ერთსაფეხურიანი სამაცივრო აგრეგატით. ეს კი მნიშვნელოვნად ეკონომიურს ხდის მაცივრის წარმოებასა და მონტაჟს.

## ლიტერატურა

1. Megrelidze T., Jafaridze Z., Suladze S., Gugulashvili G., Goletiani G., Tefnadze A., Kvirikashvili G., Omiadze Z Refrigerator machines (Piston compressors). *Technikuri Universiteti*. Tbilisi: 2009. pp. 52-53.
2. Megrelidze T., Sadagashvili E., Beruashvili G., Gugulashvili G. Study the optimal working regimes of refrigerator machines with difficult cycle. *Transactions of Technical University of Georgia*. Tbilisi. *Technikuri Universiteti*. 2011. №2(480). Pp. 91-96.
3. Meyer. *Training Manual Refrigeration-AC, ICCT*, 2004.
4. *System Trouble Shooting Measuring Instruments*. Danfoss A/S (RC-SM/MWA), 09-2002.
5. *Refrigerant Properties Honeywell*. Honeywell International Inc., USA, 2006.
6. A.S. Bernshtein *Thermoelectric Generators*
7. A. Regel *Thermoelectric Generators*
8. A. I. Karchevsky *Thermoelectric materials*.
9. A. G. Samoilevich *Thermoelectric and thermomagnetic methods of energy conversion*.
10. E.K. Iordanishvili *Thermoelectric Power Sources*.



### THREE-CHAMBER HOUSEHOLD REFRIGERATOR OF AN INNOVATIVE DESIGN.

*L.Papava, T.Isakadze, M.Razmadze, M.Qobalia, G. Gugulashvili.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 37-41. geo. sum geo. engl. rus.

As is known, the production releases different models of household refrigerators: single-compartment refrigerators with a low-temperature (freezer) section located in the upper part of the cabinet and two-compartment refrigerators. In one case, the refrigerator has one common evaporator for two sections (refrigerator and low-temperature), and in the other case, the refrigerator has two evaporators - one for the refrigerator, and the other for the low-temperature section. Compared to single-cell refrigerators, the dimensions of the low-temperature section of two-cell refrigerators are much larger.

Schemes of refrigeration units change relatively little. The main difference of the new refrigerator units is the use of evaporators with two valves connected in series, one of which cools the low-temperature section, and the other - the refrigerating section. In some two-chamber refrigerators, without changing the refrigeration unit, the natural air circulation in the evaporator is replaced by an artificial one.

The article presents the construction of a three-chamber refrigerator, which allows the storage of any food product. This refrigerator has: cooling, freezing and frozen product storage chambers, which gives the refrigerator a universal look.

*Ill. 2, bibl. 10.*

### ТРЕХКАМЕРНЫЙ БЫТОВОЙ ХОЛОДИЛЬНИК ИННОВАЦИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ.

*Л.Папавა, Т.Исакаძე, М.Размаძე, М.Кობალია, Г.Гугულაშვილი*

"Энергия". №4 (108). 2023. Тбилиси. 37-41. груз. реф. груз. англ., рус.

Как известно, производство выпускает разные модели бытовых холодильников: однокамерные с низкотемпературной (морозильной) секцией, расположенной в верхней части шкафа, и двухкамерные холодильники. В одном случае такой холодильник имеет один общий испаритель на две секции (холодильную и низкотемпературную), а в другом случае холодильник имеет два испарителя – один для холодильной, другой для низкотемпературной секции. По сравнению с однокамерными холодильниками размеры низкотемпературной секции двухкамерных холодильников значительно больше.

Схемы холодильных установок изменяются относительно мало. Основным отличием новых холодильных агрегатов является использование испарителей с двумя последовательно соединенными клапанами, один из которых охлаждает низкотемпературную секцию, а другой – холодильную секцию. В некоторых двухкамерных холодильниках без замены холодильной установки естественную циркуляцию воздуха в испарителе заменяют искусственной.

Представлена конструкция трехкамерного холодильника, позволяющего хранить любые пищевые продукты. В этом холодильнике имеются: охлаждающая, морозильная камеры и камера для хранения замороженных продуктов, что придает холодильнику универсальный вид.

*Илл. 2, лит. 10 назв.*

## სამშენებლო ფიზიკის საკითხების ზოგადი მიმოხილვა

ვახტანგ კვინტრამე - პროფესორი

E-mail: vakho710@gmail.com

მაია ჟღენტი - ასოცირებული პროფესორი

E-mail: maijgenti@mail.ru

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. მეცნიერების განვითარებასთან ერთად (კერძოდ ფიზიკის, ქიმიის) ჩნდება იმის შესაძლებლობა (აუცილებლობა), რომ მეცნიერების ახალი მიღწევები გამოყენებულ იქნას საინჟინრო საქმეში, კერძოდ სამშენებლო საქმეში. ახალი მასალების და ტექნოლოგიების გამოყენება მოითხოვს შესაბამის ცოდნას. დღის წესრიგში დადგა მეცნიერების ახალი მიმართულებების-სამშენებლო ფიზიკის შექმნა, რომელიც დაეხმარება ინჟინერ-მშენებლებს აიმაღლონ ცოდნის დონე, მშენებლობაში არსებული თანამედროვე პრობლემების სათანადოდ გადაწყვეტისათვის. სტატიაში განიხილება სამშენებლო ფიზიკის ზოგიერთი საკითი. ამ მიმოხილვიდან ჩანს, თუ რამდენად იზრდება კავშირი ფიზიკასა და სამშენებლო საქმეს შორის.

საკვანძო სიტყვები: სამშენებლო საქმე, ფიზიკა, ქიმია, სამშენებლო ფიზიკა, ახალი მასალები და ტექნოლოგიები.

როგორც ცნობილია, ინჟინერ-მშენებელი ანხორციელებს სამრეწველო-ტექნოლოგიურ, ორგანიზაციულ-მმართველობით, საპროექტო-საკონსტრუქტორო და კვლევით საქმიანობას მშენებლობის დარგში. იგი ხელმძღვანელობს სამშენებლო, სამონტაჟო და გამართვით სამუშაოებს, ახდენს მათი ხარისხის კონტროლს, ანხორციელებს ტექნიკურ კონტროლს საპროექტო გადაწყვეტილებათა რეალიზებაზე და სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოთა შესრულებაზე და ა.შ.

თანამედროვე ინჟინერი ეს არის სპეციალისტი, რომელიც კარგად იცნობს თანამედროვე ტექნიკას და ტექნოლოგიებს, ეკონომიკას და წარმოების ორგანიზაციას, შეუძლია ინჟინრული მეთოდების გამოყენება საინჟინრო ამოცანების გადაწყვეტისას. ამასთან ერთად გააჩნია გამომგონებლობის უნარი. ინჟინრის სამუშაო წარმოადგენს შემაკავშირებელ რგოლს მეცნიერულ აღმოჩენებსა და მათ პრაქტიკულ გამოყენებას შორის. ინჟინრები ხელმძღვანელობენ სამრეწველო ობიექტების საწარმოო უბნებს მშენებლობაში, სოფლის მეურნეობასა და სხვა დარგებში, მუშაობენ საკონსტრუქტორო ბიუროებში, ლაბორატორიებში და სამეცნიერო-საკვლევ დაწესებულებებში, დაკავებული არიან წარმოების ორგანიზაციის საკითხებით, დაგეგმვით და ეკონომიკით. ისინი აპროექტებენ საწარმოო დანადგარებს, მანქანებს, წარმოების ავტომატიზაციას, მართვის პროცესებს და ა.შ. [1].

მეცნიერების განვითარებასთან ერთად იზრდება მოთხოვნა მშენებელი ინჟინერის მიმართაც. მათი განათლების დონე უნდა შეესაბამებოდეს თანამედროვე მოთხოვნებს, როგორც რეალურ პირობებში, ასევე პერსპექტივაში. როგორც ცნობილია, მშენებლობა მთლიანობაში, პირველ რიგში ეფუძნება ფიზიკის კანონებს და ამ მოთხოვნების დაკმაყოფილების ერთ-ერთ საშუალებად შესაძლებელია სამშენებლო ფიზიკის მეთოდების გამოყენება.

სამეცნიერო დისციპლინათა ერთობლიობას (გამოყენებითი ფიზიკის მიმართულეებისა), რომლებიც განიხილავენ ფიზიკური მოვლენების და პროცესების კავშირს მშენებლობასთან შენობათა და ნაგებობათა ექსპლუატაციასთან, და ამასთან შეიმუშავებენ საინჟინრო გათვლების შესაბამის მეთოდებს სამშენებლო ფიზიკა ეწოდება.

ტერმინი „სამშენებლო ფიზიკა“ განეკუთვნება გამოყენებითი ფიზიკის სფეროს. სამშენებლო ფიზიკის გამოყენება - ეს არის მაღალი ხარისხის კონსტრუქციები, განახლებული ტექნოლოგიები, ენერგოდამზოგავი შენობები, გარემოს გავლენის შემცირება. იგი მოიცავს შემდეგ მიმართულებებს: ჰაერის მოძრაობას; თბომომარაგებას; ტენიანობაზე კონტროლს; გარემოს ენერჯის გამოყენებას; აკუსტიკას; განათებას.

სამშენებლო ფიზიკის ძირითადი და ყველაზე განვითარებული მიმართულებებია: სამშენებლო თბოტექნიკა, სამშენებლო აკუსტიკა, სამშენებლო შუქტექნიკა, რომლებიც შეისწავლიან სითბოს, ხმისა და სინათლის გადაცემის კანონზომიერებას, რაც აუცილებელია შენობებში ტემპერატურულ-ტენიანობრივი, აკუსტიკური, შუქტექნიკური პირობების არსებობისთვის. თანდათანობით ვითარდება სამშენებლო ფიზიკის სხვა მიმართულებებიც, როგორებიცაა: სამშენებლო კონსტრუქციების და მასალების ხანგრძლივობის თეორია, სამშენებლო კლიმატოლოგია, სამშენებლო აეროდინამიკა. შენობათა და ნაგებობების სიმტკიცის, მედეგობის და მდგრადობის საკითხებს განიხილავს (სწავლობს) გამოყენებითი ფიზიკის განსაკუთრებული (გამორჩეული) მიმართულება-სამშენებლო მექანიკა [2].

სამშენებლო ფიზიკის ამოცანების გადასაწყვეტად გამოიყენება: თეორიული გამოთვლები (გათვლები); მოდელირების მეთოდები; კონსტრუქციათა ელემენტების ლაბორატორიული გამოცდები (ტესტირება); აგებულ ობიექტებში, ცალკეულ ელემენტებზე (კვანძებზე) დაკვირვებები და გაზომვები რეალურ გარემოში. სამშენებლო ფიზიკის განვითარების უზრუნველყოფა ხდება თანამედროვე ფიზიკისა და ფიზიკური ქიმიის თეორიული და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე.

სამშენებლო ფიზიკის მონაცემები წარმოადგენს სამშენებლო ობიექტების რაციონალური პროექტირების საფუძველს, უზრუნველყოფს მოთხოვნადი საექსპლოატაციო პირობების დაცვას მოცემული ვადის განმავლობაში. სამშენებლო ფიზიკის საფუძველზე შემუშავებული გამოცდათა და გაანგარიშების მეთოდები საშუალებას იძლევა შევადგინოთ მშენებლობის ხარისხი[3].

ისეთი საკითხების შესწავლა, როგორცაა: მექანიკა, დრეკადობა და ა.შ. ეხმარება მშენებელ ინჟინერს გაეცნოს შენობებს და მათ კონსტრუქციებს მოლეკულურ დონეზე და ამით ეხმარება მას წინასწარ განსაზღვროს მოცემული მასალის და სტრუქტურის სიმტკიცე.

სამშენებლო ფიზიკა იმითაც არის გამორჩეული სხვა მეცნიერებებისგან და საინჟინრო სპეციალობებისგან, რომ იგი აერთიანებს სამეცნიერო არქიტექტურას, საინჟინრო საქმეს, ადამიანის ბიოლოგიას და ფსიქოლოგიას.

ასე, რომ სამშენებლო ფიზიკის უმეტესი საკითხების ღრმად შესწავლა, ძალიან მნიშვნელოვანია მშენებელი ინჟინერისათვის, რათა სწორად შეარჩიოს ან გააუმჯობესოს სტრუქტურები სხვადასხვა თვალსაზრისით მის საქმიანობაში. ამ საგნის შესწავლა შესაძლებელია როგორც ბაკალავრიატში, ასევე მაგისტრატურაში. ამ საკითხის გადაწყვეტა უმაღლესი სასწავლებლის კომპეტენციას განეკუთვნება.

#### ლიტერატურა

1. კვინტრაძე ვ., ჟღენტი მ. ფიზიკა და საინჟინრო სპეციალობები/ენერჯია. № 3-4(103-104). თბილისი. 2022.
2. Ильинский В.М. Строительная физика. Состояние и перспективы развития. М. 1961.
3. Physics and Civil Engineering. (<https://www.quora.com/Does-civil-engineering-involve-physics-If-so-how>)

## **GENERAL OVERVIEW OF CONSTRUCTION PHYSICS ISSUES.**

*V.Kvintradze, M. Jgenti.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 42-45. geo. sum geo. engl. rus.

With the development of science (in particular physics and chemistry), an opportunity (obligation) arises for new achievements of science to be applied in engineering, in particular in construction. The use of new materials and technologies requires appropriate knowledge. On the agenda was the creation of new direction in the science of construction physics, which will help civil engineers increase the level of knowledge to appropriately solve problems existing in the construction business. The article discusses some issues of construction physics. From this review it is clear how the connection between physics and construction is increasing.

*Bibl. 3.*

## **ОБЩИЙ ОБЗОР ВОПРОСОВ СТРОИТЕЛЬНОЙ ФИЗИКИ.**

*В.Квинтрадзе, М.Жгенти.*

"Энергия". №4 (108). 2023. Тбилиси. с. 42-45. груз. реф. англ., рус.

С развитием науки (в частности физики и химии) появляется возможность (обязательство), чтобы новые достижения науки были применены в инженерном деле, в частности - в строительстве. Использование новых материалов и технологий требует соответствующих знаний. На повестку дня встало создание нового направления науки-строительной физики, которое поможет инженерам-строителям повысить уровень знаний для соответствующего решения проблем, существующих в строительном деле. Рассматриваются некоторые вопросы строительной физики. Показана связь между физикой и строительным делом.

*Лит. 3 назв.*

მყარი ნივთიერებების შენელებული შექცევადი დეფორმაცია  
ზედაპირულად-აქტიურ გარემოში

მერაბ ლორთქიფანიძე - ტექნ. მენც. დოქტორი, პროფესორი

E-mail: [tami.energy@gmail.com](mailto:tami.energy@gmail.com)

ზეინაზ ქარუმიძე - პროფესორი

ნინო ფცქიალაძე - დოქტორანტი

E-mail: [ptskialadzenino@yahoo.com](mailto:ptskialadzenino@yahoo.com)

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ანოტაცია. მყარი ნივთიერებების დატვირთვის შემდეგ დრეკად დეფორმაციასთან ერთად თანდათანობით ვითარდება შენელებული ცოცვადობა, რომელიც დროთა განმავლობაში მიიღევა. ეს ფენომენი განსაკუთრებით ხაზგასასმელია ბეტონზე, რომელიც დეფორმირდება ნორმალური ტემპერატურისა და ტენიანობის პირობებში. მიღევადი ცოცვადობა გამოწვეულია ზედაპირულად-აქტიური გარემოს მოქმედებით და შექცევადი ხასიათისაა. რაც გამოიხატება, ზედაპირულად-აქტიური გარემოს მოცილებისას, დამატებითი დეფორმაციის სრულ გაქრობაში. სხვადასხვა შემადგენლობისა და სტრუქტურის მასალების კვლევებმა აჩვენა, რომ ასეთი შექცევადი დენადობა ყველაზე ზოგადი ხასიათისაა და შეიძლება ჩაითვალოს რეზინდერის ეფექტის გამოვლინების ახალ ფორმად.

საკვანძო სიტყვები: შენელებული შექცევადი დეფორმაცია, ზედაპირულად-აქტიური გარემო, მიკროზარები, ბეტონის ცოცვადობა.

ატმოსფეროს ნორმალური ტემპერატურისა და ტენიანობის პირობებში ბეტონის მიღევადი ცოცვადობის აღწერისას გამოყენებული იქნა გარკვეული რეოლოგიური მოდელები. მთავარ ელემენტად წარმოდგენილია „კელვინის სხეული“, რომელიც წარმოადგენს დრეკადი და ბლანტი ელემენტების პარალელურ ნაერთს. ერთის მხრივ, სხვადასხვა ზედაპირულად-აქტიურ გარემოში სხვადასხვა მასალის შექცევადი ცოცვადობის კვლევების აპროქსიმაციამ კომპიუტერული პროგრამის Scientific Work Place-ის გამოყენებით აჩვენა, რომ მასალების უმეტესობისთვის საუკეთესო შედეგები (კორელაციის კოეფიციენტი > 0,99) მიიღება ვეიბულ-კოლრაუმის ფორმულის გამოყენებით, ორწევრის გაშლით ორი რელაქსაციის პერიოდით.

$$\epsilon = \epsilon_{MAX} [1 - P_1 \exp(-t / \tau_1) - (1 - [1 - P_1] \exp(-t / \tau_2))],$$

სადაც  $\epsilon$  – მიმდინარე, ხოლო  $\epsilon_{MAX}$  – მაქსიმალური დეფორმაციაა;  $t$  – მიმდინარე დრო;  $\tau_1$  და  $\tau_2$  – რელაქსაციის პერიოდები;  $P_1$  არის პროცესის ნაწილი, რომელიც აღწერილია პირველი რელაქსაციის პერიოდით.

სხვადასხვა მასალის პარამეტრების გამოთვლის შედეგები მოცემულია ცხრილში.

დამატებითმა ინფორმაციამ, რომელიც მიღებულია ექსპერიმენტალური მონაცემების კომპიუტერული დამუშავებით, საშუალებას იძლევა განისაზღვროს შექცევადი ცოცვადობის მაქსიმალური დეფორმაცია და მისი შეწყვეტის დრო ცოცვადობის მრუდის საწყის ნაწილში (ანუ პროცესის დამთავრებამდე, რომელიც ხანგრძლივად გრძელდება), აგრეთვე პროცესის თავისებურებების გამოვლენისა, რომლებიც დაკავშირებულია დატვირთული გამოსაცდელი მასალის ხასიათსა და სტრუქტურაზე, რაც აღმოჩნდა არსებითი, პროცესის ფიზიკური მოდელის აგებისათვის.

ზედაპირულ-აქტიურ გარემოში მასალების შექცევადი დეფორმაციის მოვლენის კვლევის შედეგების ახსნისათვის განვიხილავთ პროცესის შემდეგ რეოლოგიურ და ფიზიკურ მოდელებს. მოდელების აგებისათვის ძირითადი საწყისი მონაცემები :

1. ნიმუშის დატვირთვისას, ზედაპირულ-აქტიურ გარემოს არარსებობის შემთხვევაში, დაჭიმულობის 0,5–0,8 სიმტკიცის საზღვრებში, მყისიერად წარმოიქმნება ნამდვილად დრეკადი, მთლიანად შექცევადი და დროში არ განვითარებადი დეფორმაცია, ხოლო ბეტონი, მხოლოდ პირველი დატვირთვის და განტვირთვის შემთხვევაში ავლენს ნარჩენ დეფორმაციას.

2. ზედაპირულ-აქტიურ გარემოს შეტანისას ბეტონში იწყებს განვითარებას ცოცვადობა, რომელიც დროში მიღევადია და გარემოს მოცილებისას მთლიანად შექცევადია.

3. შექცევადი ცოცვადობის დეფორმაციის განვითარების კინეტიკა ნულოვანი მიახლოებით აღწერილია ექსპონენციალური ფუნქციით ექსპონენტის მაჩვენებლით, რომელიც ტოლია გამოცდის ჩატარების მიმდინარე დროის ფარდობისა დროითი პარამეტრის გარკვეულ მახასიათებელთან – „რელაქსაციის პერიოდთან“. ზოგიერთ შემთხვევაში, პროცესის დასაწყისში, ცოცვადობა ვითარდება რამდენადმე სწრაფად, რაც შეიძლება დიდი სიზუსტით აღიწეროს ორი ექსპონენტის ჯამით, რომელთაგან მეორეს აქვს რელაქსაციის ნაკლები პერიოდი.

4. ბეტონის შექცევადი ცოცვადობის დეფორმაციის დაბრუნების კინეტიკა ზედაპირულ-აქტიური გარემოს მოცილებისას აგრეთვე ახლოსაა ექსპონენციალურთან და დამოკიდებულია გარემოს მოცილების ინტენსიურობაზე (ბუნებრივი შრობა, ვაკუუმირება).

5. დიდი დატვირთვისას, ბეტონის სიმტკიცის ზღვართან მიახლოებისას, შეინიშნება აგრეთვე შეუქცევადი ცოცვადობაც, რომელიც არ ქრება გარემოს მოცილების შემდეგაც. ის აღმოჩნდება მით უფრო დიდი, რაც უფრო მეტია დატვირთვა.

ზედაპირულ-აქტიურ გარემოში სხვადასხვა მასალების შექცევადი ცოცვადობის პარამეტრები

ცხრილი

№	მასალა	ნიმუშის ზომა მმ	გარემო	დატვირთვის მდგომარეობის სახე	$\epsilon_{cl}$ %	$\epsilon_{MAX}$ %	$\tau_1, C$	$\tau_2, C$	$P_1$
1	ბეტონი	50x50x250	წყალი	გაჭიმვა	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^6$	–	–
2	ბეტონი	40x40x160	წყალი	კუმშვა	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-1}$	$8,6 \cdot 10^6$	–	–
3	ბეტონი	50x50x250	ტენიანი ჰაერი	გაჭიმვა	$2,4 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^5$	–	–
4	ტუფი	50x50x250	წყალი	გაჭიმვა	$3,0 \cdot 10^{-5}$	$6,7 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^6$	$1,4 \cdot 10^5$	0,85
5	ტუფი	40x40x160	წყალი	კუმშვა	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^7$	$1,5 \cdot 10^6$	0,68
6	თაბაშირი	40x40x160	წყალი	გაჭიმვა	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$1,9 \cdot 10^4$	36,6	0,64
7	თაბაშირი	40x40x160	წყალი	კუმშვა	$8 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$	$1,4 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	0,73
8	ლითონი-3	3x2x72	წყალ-ბადი	კუმშვა	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^2$	$2,1 \cdot 10^2$	0,56
9	მინა	1x8x120	წყალი	კუმშვა	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	$9,8 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$	0,93
10	PMMA	4x8x80	ბენზინი	კუმშვა	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^3$		
11	რეზინა	0,5x10x160	ბენზინი	კუმშვა	33	30	$5,2 \cdot 10^2$	$4,0 \cdot 10^2$	0,13
12	ნაფტალინი	3x3x35	ბენზოლი		–	–	72*		

\* – უკუსვლა ბენზოლის აორთქლებისას

$\epsilon_{cl}$  - მყისიერი დრეკადი დეფორმაცია, დანარჩენი პარამეტრები მოცემულია ფორმულით

წარმოდგენილ შედეგებზე დაყრდნობით პროცესის ფიზიკური მოდელის აგებისას, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ შექცევადი ცოცვადობის მთელი დაგროვილი დეფორმაცია უზრუნველყოფილია კრიტიკულამდე (გრიფიტის თანახმად - რომელიც გულისხმობს მყარი ტანის სტრუქტურაში მიკრობზარებისა და დეფექტების როლზე, რომლებიც ბეტონში წარმოადგენენ ძაბვების კონცენტრატორებს) ჩანასახოვანი ბზარების წარმოქმნით და განვითარებით, რომელთათვისაც შეიძლება გამოყენებული იქნეს თერმოდინამიკული თეორიის წარმოდგენები ჩანასახოვანი ბზარების წარმოქმნის შესახებ. მითითებული ორივე თეორიის თანახმად უფრო მცირედებით დატვირთვისას (თავისუფალი ენერჯის სიჭარბისას), ვიდრე მათით, რომლებიც იწვევენ ბზარების ზგავისებურ ზრდას (ახალი ფაზის), ხდება ფლუქტუაციური წარმოქმნა და თვითნებური დარტყმა კრიტიკულამდე ჩანასახოვანი ბზარებისა (ახალი ფაზის ჩანასახი). ერთის მხრივ, თუკი ბზარის კედლებზე ხდება მოცემული მასალის ზედაპირულად-აქტიური ნივთიერების ადსორბცია,



გართულებულია და ბზარის უკუცემა სტაბილიზირდება კრიტიკულზე ნაკლები გარკვეული ზომისას და თანდათან იზრდება. ზრდის სიჩქარე ასეთი კრიტიკულამდე ბზარისა შეიძლება განისაზღვროს ზედაპირულ-აქტიური ნივთიერების მიწოდების სიჩქარით ბზარის წვერომდე, ან კიდევ მის წვერში ბმების თერმოფლუქტუაციური რღვევით, როგორც ამას, მაგალითად, ადგილი აქვს სილოქსანური კავშირების ჰიდროლითური რღვევისას წყლისა და მოდებული დატვირთვის ერთობლივი მოქმედებისას.

მივიღოთ, რომ ცოცვადობის ყველა დეფორმაცია უზრუნველყოფილია მიკრობზარების წარმოქმნითა და გახსნით, რომლებიც თანაბრად ნაწილდება დატვირთვის ქვეშ მყოფი მასალის მთელ მოცულობაზე. როგორც ჩანს, ასე ხდება მაკროსკოპულად ერთგვაროვან სილიკატურ და ორგანულ მინებში. პოლიკრისტალებში (ტუფი, თაბაშირი, ლითონი) მიკრობზარები უმეტესად წარმოიქმნება მარცვლის საზღვრებზე; ამას მიანიშნებს ის გარემოება, რომ პოლიკრისტალები ზედაპირულ-აქტიურ გარემოში ძირითადად ირღვევიან მარცვლების საზღვრებთან. რეზინის ცოცვადობა განპირობებულია მისი გაჯირჯვებით, რომელიც გააქტიურებულია მოდებული დამაბულობით.

სხვადასხვა გარემოში სხვადასხვა მასალის შექცევადი ცოცვადობის ექსპერიმენტული მონაცემების შედარება საშუალებას გვაძლევს გამოვთქვათ ვარაუდი მიკრობზარების წარმოქმნისა და ზრდის შესაძლო მექანიზმების შესახებ, რომლებიც უზრუნველყოფენ შექცევადი ცოცვადობის დეფორმაციას. ექსპერიმენტის შედეგების კომპიუტერულმა დამუშავებამ აჩვენა შემდეგი:

1. ბეტონის ცოცვადობა – წყლითგაჯერებული, ან ტენიან ატმოსფეროში მყოფი, აღიწერება ერთ პერიოდიანი რელაქსაციის ტოლობით.

2. ცოცვადობა დატენიანებული ტუფის, თაბაშირის, მინის და ლითონის კარგად აპროქსიმირდება რელაქსაციის ორ პერიოდიანი ტოლობით. ტუფისა და მინისათვის რელაქსაციის მეორე (მოქმედების დროის მიხედვით – პირველი) პერიოდი მოკლეა, და მისი წილი საერთო დეფორმაციაში მცირეა. რეზინისათვის რელაქსაციის მეორე პერიოდი აგრეთვე მცირეა, მაგრამ განსაზღვრავს დეფორმაციის თითქმის მთელ პროცესს. თაბაშირისათვის და ლითონისათვის რელაქსაციის მეორე პერიოდი მცირეა, მაგრამ რელაქსაციის ორივე პერიოდი თანაზომიერია.

## ლიტერატურა

1. პერცოვი ნ.ვ., ლორთქიფანიძე მ.მ., ჯოჯუა თ.ა. ზედაპირულ აქტიურ გარემოში მყარი ნივთიერებების შექცევადი დენადობის მოდელები და მექანიზმები//საერთაშორისო სამეცნიერო სკოლის „ვიბროტექნოლოგია-2002“/ შრომების კრებული დისპერსიული მასალებისა და გარემოს მექანიკური დამუშავების შესახებ. ოდესა. 2002.
2. ლორთქიფანიძე მ.მ. ტექნიკური დიაგნოსტიკა და არადესტრუქციული კონტროლი. კიევი. 2000. №3.

### **SLOW REVERSIBLE DEFORMATION OF SOLIDS IN A SURFACE-ACTIVE ENVIRONMENT.**

*M.Lordkipanidze, Z.Karumidze, N.Ptskialadze.*

"Energy". №4(108). 2023. Tbilisi. p. 46-50. geo. sum geo. engl. rus.

After loading of solids, along with elastic deformation, retarded creep gradually develops, which subsides over time. This phenomenon is especially emphasized on concrete, which deforms under normal temperature and humidity conditions. Creep is caused by the action of a surface-active environment and is reversible. Which is expressed in the complete disappearance of the additional deformation when the surface-active environment is removed. Studies of materials of different composition and structure have shown that such reversible flow is of the most general nature and can be considered a new form of manifestation of the Rebinder effect.

*Tabl. 1, bibl. 2.*

თამაზ კობრიძეს  
ვულოცავთ დაბადების დღეს



ელექტროენერგეტიკის დარგის ცნობილ პროფესიონალსა და მეცნიერს, საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის აკადემიკოსს, ტექნიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ ბატონ თამაზ კობრიძეს 75 წელი შეუსრულდა.

ცნობილი მეცნიერი და საზოგადო მოღვაწე, ახალგაზრდა სპეციალისტთა და მკვლევართა მრავალი თაობის ღირსეული აღმზრდელი, საქართველოს ენერგეტიკის აკადემიის აკადემიკოსი, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი თამაზ კობრიძე ქართული ინტელიგენციის იმ პლეადას მიეკუთვნება, რომელმაც გასული საუკუნის მეორე ნახევარში გაბედულად შემოაბიჯა ჩვენი ქვეყნის სამეცნიერო და პედაგოგიურ ასპარეზზე და მას შემდეგ დიდი შემართებით იღწვის ენერგეტიკული და ელექტროტექნიკური მეცნიერების წინსვლისა და განვითარებისათვის, მაღალი პროფესიონალური განათლების მქონე საინჟინრო კადრების აღზრდისა და ჩამოყალიბებისათვის.

პროფესორ თ.კობრიძის მიერ განვლილი ცხოვრების გზა, მისი სამეცნიერო და პედაგოგიური ავტორიტეტი, საზოგადოებრივი აღიარება და პატივისცემა ქვეყნისათვის გაწეული დიდი შრომის ჭეშმარიტი დადასტურებაა.

თ.კობრიძე დაიბადა 1948 წლის 3 ნოემბერს სამტრედიის რაიონის სოფელ დიდი ჯიხაიში. 1966 წელს დაამთავრა სოფელ დიდი ჯიხაიშის საშუალო სკოლა და ჩაირიცხა საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის ენერგეტიკის ფაკულტეტზე “ელექტრული სადგურების” სპეციალობით. 1971 წ. წარჩინებით დაამთავრა ინსტიტუტი და სამუშაოდ განაწილებული იყო “საქმთავარენერგოს” ცენტრალურ სადისპეტჩერო სამსახურში ინჟინრად, სადაც ორი წლის მუშაობის შემდეგ როგორც ახალგაზრდა სპეციალისტი გაგზავნილ იქნა 1973 წ. მიზნობრივი დანიშნულებით მოსკოვის გ.მ. კრუჩინოვსკის სახელობის ენერგეტიკული სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის დასწრეულ ასპირანტურაში სპეციალობით “ელექტრული მანქანები”. ასპირანტურის დამთავრების შემდეგ ინსტიტუტის მოთხოვნით დატოვებულ იქნა სამუშაოდ იმავე ინსტიტუტის “კრიოგენული ელექტროტექნიკის” ლაბორატორიაში უმცროსი მეცნიერ-თანამშრომლის თანამდებობაზე, სადაც მუშაობდა აკადემიკოს შოთა ლუტიძის ხელმძღვანელობით ენერგეტიკული დანიშნულების ზეგამტარული

მოწყობილობების შექმნის პრობლემაზე. 1979 წელს დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტში თემაზე: «Установившиеся и переходные процессы в бесконтактном двигателе постоянного тока».

ბატონმა თამაზმა მეცნიერებას შესთავაზა მუდმივი დენის უკონტაქტო ელექტრულ ძრავებში ძაბვისა და სიხშირის ახალი რეგულირების კანონები და განახორციელა ისინი პრაქტიკულად. ახალი რეგულირების კანონების გათვალისწინებით შეისწავლა დამყარებული და გარდამავალი ელექტრომაგნიტური და ელექტრომექანიკური პროცესები. კვლევის შედეგები წარმატებით დაინერგა ტყვარჩელისა და მოლდოვეთის სახელმწიფო რაიონულ ელექტროსადგურებში საკუთარი მოხმარების ელექტრული ძრავების მოდერნიზაციის დროს. ამჟამად აღნიშნული ძრავები წარმატებით ინერგება წვევის ელექტრულ სისტემებში. “კრიოგენული ელექტროტექნიკის” ლაბორატორიაში მუშაობის დროს მის მიერ დამუშავებული იქნა სხვადასხვა ზეგამტარული ელექტრომოწყობილობების სქემები და კონსტრუქციები, რომლებზეც მიღებული აქვს მრავალი საავტორო გამოგონება. ისინი მიმართულია ზეგამტარული ელექტრომოწყობილობების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ამაღლებისაკენ და გააჩნია დანერგვის დიდი პერსპექტივა.

1981 წ. ბატონი თამაზი გადაყვანილი იქნა ლენინგრადის სამეცნიერო-საწარმოო გაერთიანება “კრასნაია ზარია”-ს ელექტროტექნიკურ მოწყობილობათა სამეცნიერო კვლევითი ინსტიტუტის თბილისის ფილიალში უფროსი მეცნიერ-თანამშრომლის თანამდებობაზე, სადაც მუშაობდა ოპტიკური არხების კომუტაციის პრობლემაზე. მის მიერ დამუშავებული იქნა ოპტიკური არხების კომუტაციის სხვადასხვა პრინციპები: ელექტრომექანიკური, ელექტროოპტიკური და მაგნიტოოპტიკური. ამ პრინციპების საფუძველზე დამზადებულ იქნა ფიზიკური მოდელები, რომლებიც წარმატებით დაინერგა თავდაცვის სისტემაში სპეციალური დანიშნულების ობიექტებზე. 1984-1998 წწ. ბატონი თამაზი მუშაობდა საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში “ელექტრული სადგურების, ქსელებისა და სისტემების” კათედრაზე დოცენტის თანამდებობაზე. კითხულობდა ლექციების კურსს დისციპლინაში “ელექტრო-მაგნიტური და ელექტრომექანიკური გარდამავალი პროცესები ელექტრულ და ელექტრომომარაგების სისტემებში.” კათედრაზე მუშაობის პერიოდში ის კარგად უთავსებს ერთმანეთს პედაგოგიურ და მეცნიერულ საქმიანობას.

ბატონმა თამაზმა ჩაატარა დიდი მოცულობის სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები ელექტროენერგეტიკის ისეთ პრობლემებზე, როგორცაა თბოელექტრო-სადგურების საკუთარი მოხმარების ელექტრომექანიკური სისტემების მოდერნიზაციის საკითხები.

ბატონმა თამაზმა დაამუშავა, გამოიკვლია და დანერგა ტყვარჩელის სახელმწიფო რაიონულ ელექტროსადგურში მუდმივი დენის უკონტაქტო ძრავებიანი მართვადი ელექტრომექანიკური სისტემები.

1997 წ. დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია აზერბაიჯანის ენერგეტიკულ სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში თემაზე: «Управляемые электромеханические системы с бесконтактными двигателями постоянного тока».

1998-2004 წლებში ბატონი თამაზი მუშაობდა საქართველოს ტექნიკური

უნივერსიტეტის საავიაციო ინსტიტუტში “სავიაციო მოწყობილობების” კათედრაზე პროფესორის თანამდებობაზე. კითხულობდა ლექციების კურსს დისციპლინებში: “სავიაციო ელექტრული მანქანები და აპარატები”, “ელექტროტექნიკის თეორიული საფუძვლები”, “სპეციალური კურსი საავიაციო ელექტრულ მანქანებში”, “საჰაერო ხომალდების ელექტრომომარაგების სისტემები”, “საჰაერო ხომალდების ელექტრო და ხელსაწყოთა მოწყობილობები”. მან კათედრაზე შექმნა “სავიაციო ელექტრული მანქანების” ლაბორატორია. 2004-2005 წწ. ბატონი თამაზი მუშაობდა შპს “საქართველოს სახელმწიფო ელექტროსისტემა”-ში ტექნიკური მხარდაჭერის ხელმძღვანელის თანამდებობაზე. 2006-2007 წწ. ბატონი თამაზი მუშაობდა სს “ელმავალშენებელ”-ში “წვეის ელექტრული მანქანების და აპარატების” გამოსაცდელ ცენტრში უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე. 2009-2010 წწ. ბატონი თამაზი მუშაობდა სს “თბილსრეს”-ის საწარმო-ტექნიკურ განყოფილებაში წამყვანი სპეციალისტის თანამდებობაზე. 2010-2011 წწ. იგი მუშაობდა შპს “ელ ინდასტრი ჯორჯი”-ას საპროექტო განყოფილებაში წამყვანი სპეციალისტის თანამდებობაზე.

2011 წლიდან დღემდე ბატონი თამაზი მუშაობს საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის ფაკულტეტის “ელექტროტექნიკისა და ელექტრონიკის” დეპარტამენტში პროფესორის თანამდებობაზე. კითხულობს ლექციების კურსს დისციპლინებში: “ელექტრული წრედების თეორია”, “ელექტრომაგნეტიზმი”, “ელექტრომოწყობილობების გამოცდების და კონტროლის მეთოდები და საშუალებები”, “ელექტრომოწყობილობების დიაგნოსტიკა”.

თ.კობრიძე მრავალი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციისა და სიმპოზიუმის მონაწილეა.

თ. კობრიძეს გამოქვეყნებული აქვს 160-ზე მეტი მეცნიერული შრომა, რომლებიც დაბეჭდილია როგორც საქართველოს, ასევე რუსეთის, უკრაინის, აზერბაიჯანის და სხვა ქვეყნების ფუნდამენტურ ელექტროტექნიკურ სამეცნიერო ჟურნალებში. ბატონი თამაზი სისტემატურად ეწევა მეცნიერულ მუშაობას

სტუდენტებთან, მაგისტრებთან და დოქტორანტებთან. მისი ხელმძღვანელობით დაცულია 10 სამაგისტრო და 9 სადოქტორო დისერტაცია.

პროფესორი თ.კობხრიძე არის მაღალი მოქალაქეობრივი პრინციპების მეცნიერი, პედაგოგი და აღმზრდელი. ის განსაკუთრებული პატივისცემითა და სიყვარულით სარგებლობს კოლეგებსა და სტუდენტ-ახალგაზრდობაში. ჰყავს მეუღლე, ვაჟი, ქალიშვილი, ხუთი შვილიშვილი და ერთი შვილთაშვილი.

ბატონო თამაზ! გილოცავთ 75 წლის იუბილეს! გისურვებთ ჯანმრთელობას, დიდხანს სიცოცხლეს და ახალ შემოქმედებით მიღწევებს ჩვენი ქვეყნის საკეთილდღეოდ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალ "ენერჯის" რედაქცია  
საქართველოს ენერგეტიკის აკადემია  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ენერგეტიკის  
ფაკულტეტი

## რელაქციაში სტატიების შემოტანის წესები

ჟურნალის რელაქციაში შემოსატანი მასალა უნდა შეიცავდეს:

### სტატიის ტექსტი იწერება ორ სვეტად !

ტექსტში უნდა გამოიკვეთოს ცალკეული ნაწილები. მაგალითად: შესავალი, სამუშაოს მიზანი, თემატური ნაწილი, დასკვნები, გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალი და გამოყენებული ლიტერატურის ჩამონათვალი ინგლისურ ენაზე (ტრანსლიტერაცია).

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 10. ინტერვალი - აზრის დაშორება - 0,75. ტექსტი სწორდება სვეტის სიგანეზე. დანაყოფების დასახელება მუქად.

ფორმულები უნდა აიკრიბოს რელაქტორში: Microsoft Equation 3.0.

გრაფიკული ნაწილი უნდა შესრულდეს \*.jpg ან \*.bmp. ფორმატში (300–600dpi). განმარტებითი წარწერა გრაფიკულ ნაწილს მიეთითოს ქვევით – 10 შრიფტით. განმარტებითი წარწერა და ნომერი ცხრილებს მიეთითოს ზევით – 10 შრიფტით.

### ნაშრომის სტრუქტურა

პირველ სტრიქონზე:

სტატიის ენაზე სტატიის დასახელება.

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 11. ტექსტი სწორდება გვერდის შუაში (მუქად).

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ავტორის სახელი, გვარი, სამეცნიერო ხარისხი, სამეცნიერო წოდება.

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 10. ინტერვალი -

ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე. (გვარი და სახელი - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

ორგანიზაციის დასახელება, ქალაქი, ქვეყანა და ელექტრონული ფოსტის მისამართი.

შრიფტები:

ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 10. ინტერვალი - ტექსტი სწორდება გვერდის მარცხენა მხარეზე.

ორი და მეტი ავტორის შემთხვევაში ყოველი ავტორი და მისი მონაცემები უნდა აიკრიფოს ახალ სტრიქონზე.

ერთი სტრიქონის გამოტოვებით:

ანოტაცია: სტატიის ენაზე. მოცულობა არ უნდა აღემატებოდეს 500 სიმბოლოს.

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 10. ინტერვალი - ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. ("ანოტაცია" - მუქად).

შემდეგ სტრიქონზე:

საკვანძო სიტყვები: უნდა იყოს 4-5 საკვანძო სიტყვა (სიტყვათშეთანხმება დასაშვებია არა უმეტეს ორი სიტყვისა).

შრიფტები: ქართული - Sylfaen, ინგლისური და რუსული - Times New Roman. ზომა - 10. ინტერვალი - ტექსტი სწორდება გვერდის სიგანეზე. ("საკვანძო სიტყვები"- მუქად). პირველი იწერება ანოტაცია და საკვანძო სიტყვები სტატიის ენაზე.