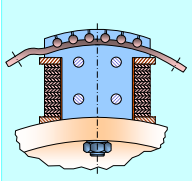
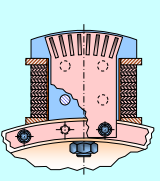


Владимир Герасимов



Ротор

синхронной
явнополюсной
электрической
машины



Изобретательская бль
2005

VLADIMIR GERASIMOV © 2005



СОДЕРЖАНИЕ

Стр.1 ● Содержание

2 ● Старое распределение

3 ● Капельно-струйная пропитка

4, 5 ● Технология «МОНОЛИТ»

6 ● Клиент всегда прав

7 ● Дорого, но надежно

8, 9 ● Задача по АРИЗ

10 ● Портрет ответа

11 ● Конструкция ротора

12, 13, 14 ● Первые последствия

15 ● Проблемы с охлаждением

Стр.16 ● Сквозной канал

17 ● Проблемы пуска машины

18 ● «Трапедия» на витках

19 ● Исключение асбеста

21 ● Последствия (схема)

22 ● Перечень последствий

23 ● Группы предложений

24 ● Количество - в качество

25 ● Качественные скачки

26 ● Авторское свидетельство

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 1

ПРОБЛЕМА



✗

ЛАК

ЭПОКСИДНЫЙ
КОМПАУНД

В 1986 году на Ленинградском электромашиностроительном заводе при проведении функционально-стоимостного анализа (ФСА) по полюсам крупных синхронных машин в Бюро рационализации и изобретательства (БРИЗ) было обнаружено старое предложение. Предлагалось при промазке полюсных катушек заменить изоляционный лак на эпоксидный компаунд. Поперек текста стояла резолюция начальника цеха: ОТКАЗАТЬ.

Резолюция была справедливая; орудовать в обоих случаях надо было вручную кистью – работа грязная и тяжелая. Но, в отличие от лака, компаунд был еще и токсичной жидкостью, кроме того, ручная работа не обеспечивала необходимого качества изоляции.

Спустя некоторое время на разных заводах начало появляться оборудование, позволявшее использовать компаунд без применения ручного труда.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 2



эпоксидный
компаунд

КАПЕЛЬНО-СТРУЙНАЯ ПРОПИТКА

В 70-е годы обмотки небольших электрических машин (примерно до 0,5 метра длиной) начали пропитывать на установках для капельно-струйной пропитки (например, на Рижском электромашиностроительном заводе).

Пропитка обеспечивала высокую механическую и электрическую прочность изоляции и хорошо предохраняла ее от влаги. Однако такой способ мало подходил для крупных электрических машин, поэтому для них были разработаны и внедрены специальные технологии.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 3

Ø 2 м





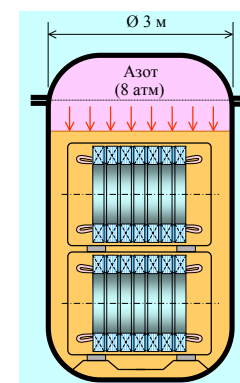
Роторы асинхронных двигателей перед сборкой машин
Rotors of Induction Motors before Assembling the Motors

На Ленинградском электромашиностроительном заводе в 80-е годы статоры машин пропитывали в специальной камере (технология «МОНОЛИТ»).

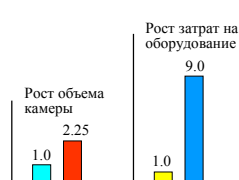
Качество изоляции получалось высоким, что позволяло уменьшить ее толщину в 2 раза. При этом, в свою очередь, улучшалось охлаждение машины и значительно снижалась ее себестоимость. Хотя оборудование и стоило дорого, оно себя окупало.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 4

Ø 3 м



Рост затрат на оборудование



Диаметр камеры	Рост объема камеры	Рост затрат на оборудование
1.0	1.0	1.0
2.25	2.25	9.0

На «Сибэлектротязмаше» (г. Новосибирск) построили пропиточную камеру диаметром 3 м, т.е. в 1,5 раза больше ленинградской. В ней можно было пропитывать машины большего размера, однако при этом стоимость оборудования выросла почти на порядок.

Такая пропиточная камера не могла окупить себя практически никогда.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 5

ПРОБЛЕМА

В 1986 году на «Электросилу» обратились строители ленинградской защитной дамбы от паводков и наводнений. Электрические машины, которые служили приводом для насосов мощного земснаряда, из-за повышенной влажности и постоянных перегрузок часто выходили из строя.

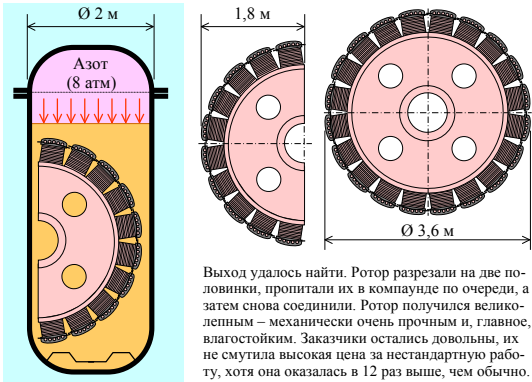
Заказчики объяснили, что один день простоя земснаряда, необходимый для ремонта электродвигателя, обходится строителю в 100 раз дороже стоимости новой машины. Они просили любой ценой увеличить ее надежность и влагостойкость.

Но как пропитать в эпоксидном компаунде ротор диаметром 3,6 метра, если диаметр камеры всего 2 метра?



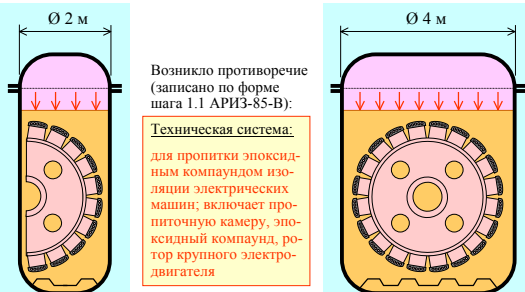
Ротор синхронной тихоходной машины
Rotor of Slow-Speed Synchronous Machine

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 6



Выход удалось найти. Ротор разрезали на две половинки, пропитали их в компаунде по очереди, а затем снова соединили. Ротор получился великолепным – механически очень прочным и, главное, влагостойким. Заказчики остались довольны, их не смутила высокая цена за нестандартную работу, хотя она оказалась в 12 раз выше, чем обычно.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 7



Возникло противоречие (записано по форме шага 1.1 АРИЗ-85-В):

Техническая система:
для пропитки эпоксидным компаундом изоляции электрических машин; включает пропиточную камеру, эпоксидный компаунд, ротор крупного электродвигателя

- Существующая пропиточная камера
- Разрезанный ротор

↔

- Требуемая пропиточная камера увеличенного размера
- Целый ротор

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 8

Техническое противоречие ТП-1:
ЕСЛИ РОТОР РАЗРЕЗАТЬ НА ЧАСТИ, ТО ПРОПИТАТЬ ЕГО МОЖНО В ИМЕЮЩЕЙСЯ КАМЕРЕ, НО ТРУДОЕМКОСТЬ РАБОТЫ БУДЕТ НА ПОРЯДОК ВЫШЕ, ЧЕМ ОБЫЧНО

Техническое противоречие ТП-2:
ЕСЛИ ИЗГОТОВИТЬ НОВУЮ БОЛЬШУЮ КАМЕРУ, ТО В НЕЙ МОЖНО БУДЕТ ПРОПИТАТЬ РОТОР ЦЕЛИКОМ, НО СТОИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ БУДЕТ НЕДОПУСТИМО ВЫСОКА

Необходимо при минимальных изменениях
ОБЕСПЕЧИТЬ ПРОПИТКУ ЦЕЛОГО РОТОРА В ИМЕЮЩЕЙСЯ ПРОПИТОЧНОЙ КАМЕРЕ

Примечание: Дальнейшая работа была выполнена при непосредственном участии Пинского В.Б., начальника бюро синхронных электрических машин, специалиста с большим стажем работы.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 9

ПРОБЛЕМА

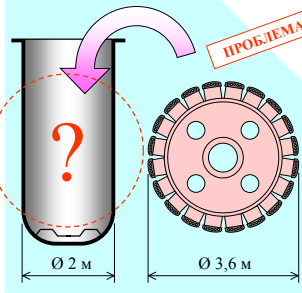
По сути задача чисто геометрическая: как большой ротор не разрезая, целиком, поместить в маленькую емкость?

Опыт подсказывает, что при таких ограничениях решить задачу невозможно, или, во всяком случае, очень трудно.

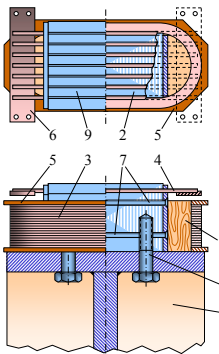

Однако совсем не трудно представить себе, что мы получим, если решим эту задачу:

МЫ ПОЛУЧИМ РОТОР, ПРОПИТАННЫЙ В ЭПОКСИДНОМ КОМПАУНДЕ.

При этом конструкция ротора и свойства компаунда хорошо известны специалистам.



VLADIMIR GERASIMOV © 2005 10

Ротор синхронного двигателя с пусковой клеткой
Synchronous Motor Rotor with Starting Gage

1 – остов ротора	6 – сегмент
2 – сердечник полюса	7 – шпильки
3 – рабочая катушка	8 – клин
4 – пусковая катушка	9 – башмак
5 – изоляционная шайба	10 – болт

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 11

Эпоксидный компаунд по сравнению с лаком обладает повышенной механической и электрической прочностью, а также более высокой адгезией. Функция клина «Удерживать катушку» в новых условиях становится не

нужной, т.к. катушка к сердечнику прочно приклеена компаундом. Однако большого выигрыша это не дает, так как стоимость двух деревянных клиньев всего 2 руб. Отмечаем ресурс: «пустое пространство».

пустое пространство на месте клина

клин

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 12

Обод магнитного колеса (остова ротора) выполняет две функции: основную «Проводить магнитный поток» (место А) и вспомогательную «Поддерживать катушку» (место В).

Остов ротора тихоходного двигателя Rotor Body of Slow-Speed Motor

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 13

Благодаря пропитке катушка становится прочной и поддерживать ее нет необходимости. Поэтому обод с обеих сторон можно обрезать. Это значительно снижает его вес и затраты на материал.

При этом за счет уменьшения маховой массы (GD^2) облегчаются условия пуска машины. Как и в предыдущем случае, отмечаем ресурс: «пустое пространство» на месте обрезанной части обода магнитного колеса.

пустое пространство на месте клина

пустое пространство на месте обода

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 14

ПРОБЛЕМА

Лобовая часть катушки с выступающими витками

воздух

Станок для намотки полюсных катушек синхронных машин Winding Machine for Making Field Coils of Synchronous Machines

Иногда в машинах большой мощности для увеличения поверхности охлаждения катушек им в торцевой (лобовой) части придают гребенчатое очертание. Однако наматывать такие катушки очень трудно, т.к. фактически приходится перестраивать станок на каждом витке. Кроме того, из-за неравномерности обдува катушки воздухом, движение которого в основном происходит в радиальном направлении, эффективность охлаждения растет мало.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 15

Образовавшийся сквозной канал даст двойную пользу – открывается внутренняя поверхность рабочей катушки, что увеличивает ее обдуваемую площадь на $\approx 30\%$. Кроме того, в канале можно разместить короткозамыкающие элементы пусковой обмотки.

Следует отметить, что изменение конструкции пусковой клетки решает сразу несколько серьезных проблем – повышается надежность пайки, снижаются затраты на дорогой серебросодержащий припой; стержни пусковой обмотки становятся короче на $\approx 20\%$.

кольцо

сегмент

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 16

ПРОБЛЕМА

магнитопровод

стержни обмотки

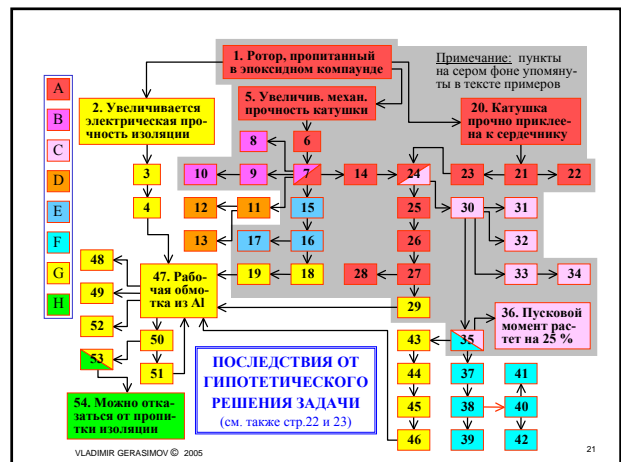
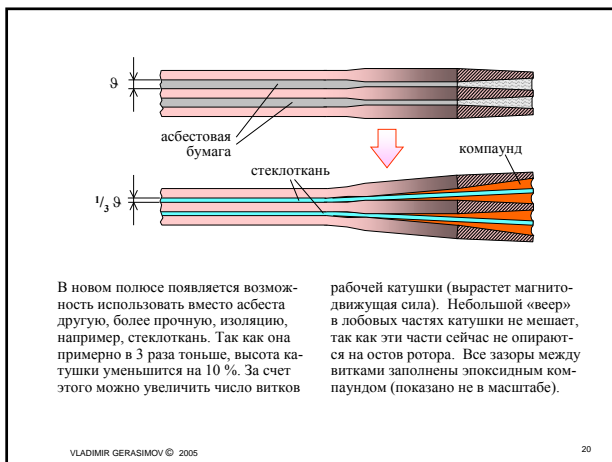
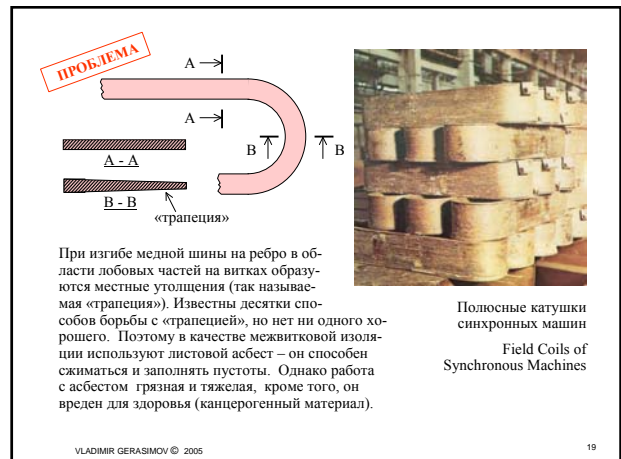
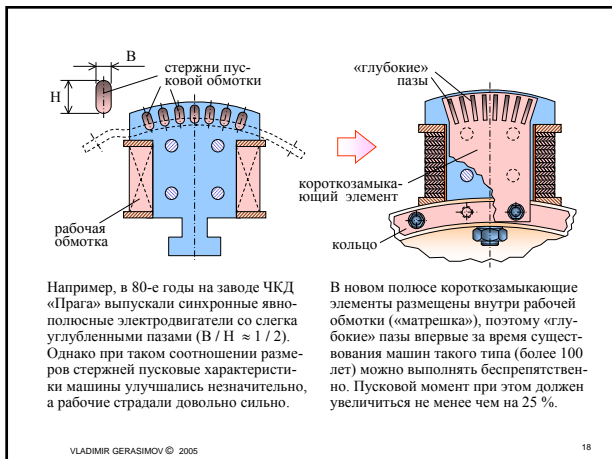
сегмент

стержни пусковой обмотки

рабочая обмотка

В асинхронных машинах для улучшения пускового момента стержни углублены в тело ротора. При этом используется т.н. «эффект вытеснения тока» (соотношение ширины и высоты стержня должно быть $B/H > 1/8$). Однако в полюсах воспользоваться этим эффектом не удастся. Сегменты, соединяющие стержни пусковой обмотки, размещены над рабочей обмоткой, поэтому любая попытка углубить стержни в тело сердечника, чтобы улучшить пусковые характеристики, приведет к снижению высоты рабочей обмотки и, как следствие, к ухудшению рабочих характеристик.

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 17



Перечень основных последствий от предполагаемого решения задачи (к стр.21)

1. Ротор, пропитанный в эпоксидном компаунде	29. Появляется «пустота» на месте мед. шины
2. Увеличивается электр. прочность изоляции	30. Можно разместить, к.з. сегменты вертикально
3. Можно уменьшить толщину нажимных шайб	31. Можно уменьшить толщину напайки
4. Появляется «пустота» на месте части шайб	32. Увеличивается надежность соединения
5. Увеличивается механич. прочность катушки	33. Можно укоротить стержни пуск. обмотки
6. Не нужна функция «Поддерживать катушку»	34. Снижаются затраты на их стержни на 20%
7. Можно отрезать часть обода колеса	35. Можно выполнить «глубокие пазы»
8. Снижаются затраты на материал остова ротора	36. Увеличивается пусковой момент на 25%
9. Снижается маховая масса ротора (GDF)	37. Можно увеличить сечение стержней
10. Улучшаются условия пуска электродвигателя	38. Можно выполнить стержни из алюминия
11. Можно делать выводы катушек из медной шины	39. Снижаются затраты на материал стержней
12. Снижаются затраты на материал соединений	40. Можно применить сварку вместо пайки
13. Увеличивается надежность соединений	41. Исключаются затраты на припой и пайку
14. Появляется «пустота» на месте части обода	42. Увеличивается надежность соединения
15. Можно не устранять «трапецию» на медной шине	43. Уменьшились магнитное сопротивление сердечника
16. Можно уменьшить толщину изоляции в 3 раза	44. Можно уменьшить МДС рабочей обмотки
17. Можно заменить асбест (канцер) на стеклоткань	45. Можно уменьшить толщину медной шины
18. Снижается высота рабочей катушки на 10%	46. Появляется «пустота» на месте части шины
19. Появляется «пустота» на месте части изоляции	47. Можно выполнить рабочую обмотку из Al
20. Катушка прочно приклеена к сердечнику	48. Облегчается намотка шины на ребро
21. Можно удалить клинья, удерживающие катушку	49. Исключаются трудоемкий отжиг меди
22. Исключаются затраты на материал клиньев	50. Можно изолировать шину оксидной пленкой
23. Появляется «пустота» на месте клина	51. Появляется «пустота» на месте изоляции
24. Появляется сквозной канал в лобовых частях	52. Исключаются затраты на матер. изоляции
25. Увеличиваются поверхность обода катушки на 30%	53. Увеличивается механическая и электрическая прочность изоляции рабочей обмотки
26. Можно уменьшить толщину медной шины	54. Можно отказаться от пропитки вообще, как эпоксидным компаундом, так и лаком тоже
27. Появляется «пустота» на месте части шины	
28. Снижаются затраты на медную шину	

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 22

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ ПРЕДЛОЖЕНИЙ
(к стр.21 и 22)

A	Улучшение охлаждения ротора: 1, 5, 6, 7, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28
B	Облегчение условий пуска электродвигателя (уменьшение GD^2): 7, 8, 9, 10
C	Улучшение пуск. х-к машины («глубокие пазы»): 24, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36
D	Повышение надежности междуполюсных катушечных соединений: 11, 12, 13
E	Уменьшение толщины изоляции (отказ от использования асбеста): 15, 16, 17
F	Стержни пусковой обмотки из алюминиевой полосы: 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42
G	Рабочая обмотка из Al: 2, 3, 4, 18, 19, 29, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53
H	Отмена использования эпоксидного компаунда и изоляционного лака: 53, 54

Примечание: часть предложений была внедрена; реализации других помешали выход в 1988 г. завода ЛЭЗ из объединения «Электросила» и прекращение выпуска двигателей этого типа

VLADIMIR GERASIMOV © 2005 23

ПЕРЕХОД КОЛИЧЕСТВА В КАЧЕСТВО

«Допустив недопустимое», т.е. предположив, что задача решена, мы получаем предложения, часть из которых не очень крупные и особенно интереса не представляют, например, предложение № 21 «Удалить клинья, удерживающие катушку». Однако, в сочетании с предложением № 7 «Отрезать часть обода колеса», оно приводит к КАЧЕСТВЕННОМУ СКАЧКУ – образованию в катушке сквозного канала.



Рисунок Виктора Богорада

КАЧЕСТВЕННЫЕ СКАЧКИ

1-й СКАЧОК

В катушке образовался сквозной канал (пункт № 24), который позволяет устранить сразу много проблем электрической машины – разрешить противоречие между пусковой и рабочей обмотками, резко улучшить охлаждение, применить «глубокие пазы» (пункт № 35), которые сами по себе разрешают многие противоречия.

2-й СКАЧОК

Еще один пример качественного скачка – пункт № 47. В нем реализован из-

вестный подход «С миру по нитке...»: накопившийся в разных местах ресурс «Пустота на месте удаленного элемента» позволяет заменить медную шину на менее дефицитную алюминиевую.

3-й СКАЧОК

И еще один случай – пункт № 54. Так как в качестве изоляции предложено использовать оксидную пленку на поверхности алюминиевой шины, то теоретически отпадает необходимость пропитки катушки (это предложение требует практической проверки).



Формула изобретения
Ротор синхронной явнополюсной электрической машины, содержащий остов, сердечники полюсов, катушки возбуждения с лобовыми частями и размещенные в пазах сердечников стержни пусковой обмотки, соединенные по торцам короткозамыкающими элементами,

отличающийся тем, что, с целью повышения надежности при обеспечении высоких пусковых характеристик, пазы под стержни пусковой обмотки углублены в сердечник полюса ниже уровня верхнего торца катушки возбуждения, а короткозамыкающие элементы установлены между торцевыми стенками сердечников полюса и лобовыми частями катушек возбуждения и соединены с дополнительным введенным кольцом, жестко прикрепленным к торцу остова ротора.