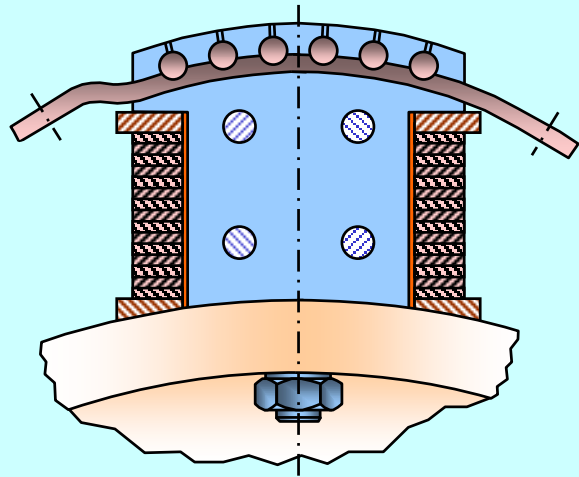
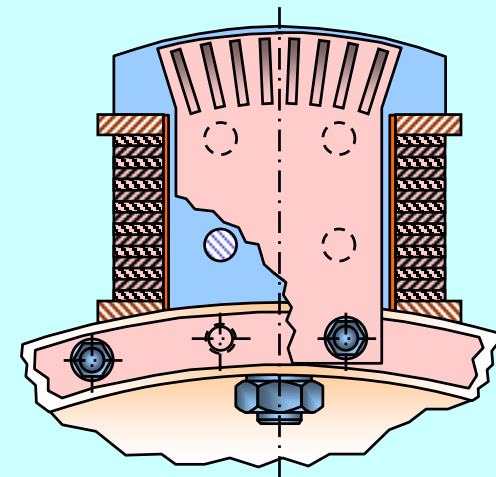


Владимир Герасимов

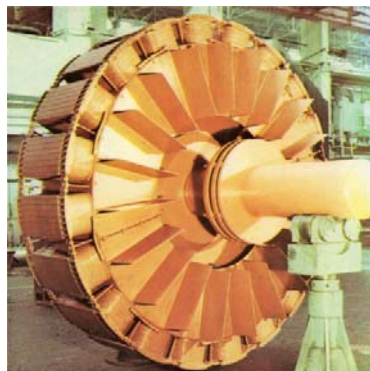


Ротор

синхронной
явнополюсной
электрической
машины



Изобретательская быль
2005



СОДЕРЖАНИЕ

- Стр.1 ● Содержание
 - 2 ● Старое рацпредложение
 - 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 ● Проблемы глубоких пазов
 - 19 ● «Трапеция» на витках
 - 20 ● Исключение асбеста
 - 21 ● Последствия (схема)
 - 22 ● Перечень последствий
 - 23 ● Группы предложений
 - 24 ● Количество - в качество
 - 25 ● Качественные скачки
 - 26 ● Авторское свидетельство



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 рацпредложение. 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.

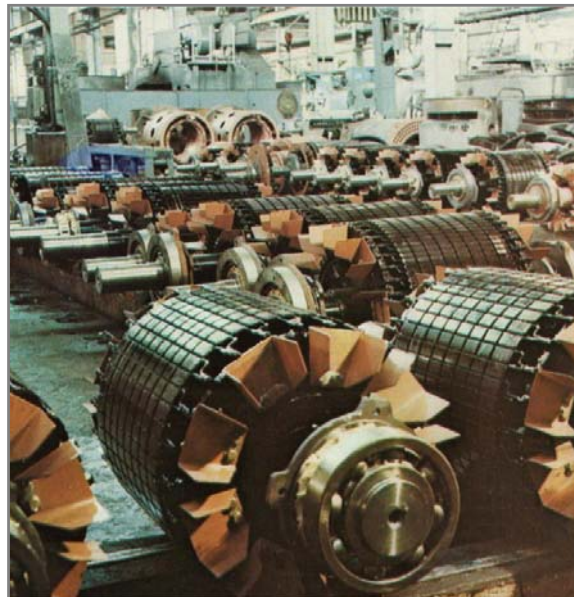
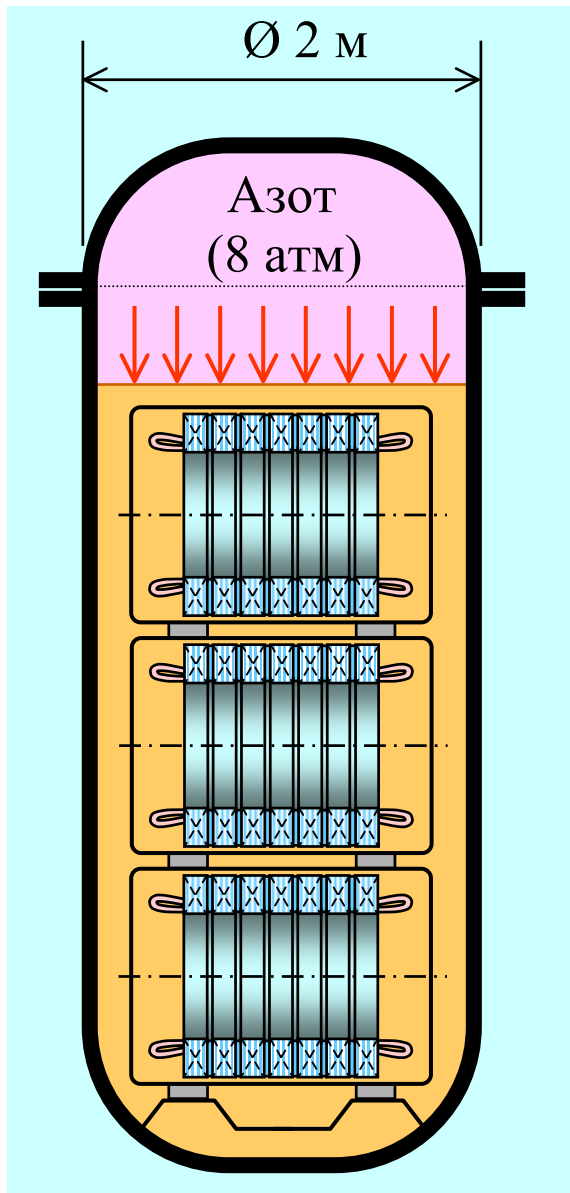


эпоксидный
компаунд

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.

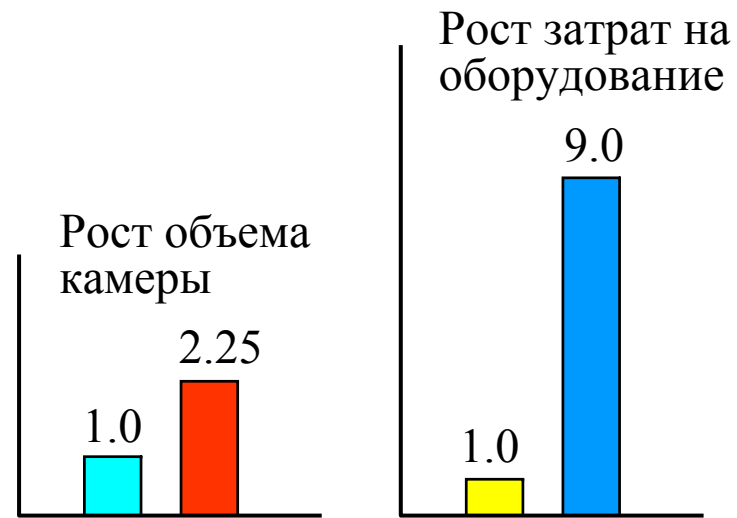
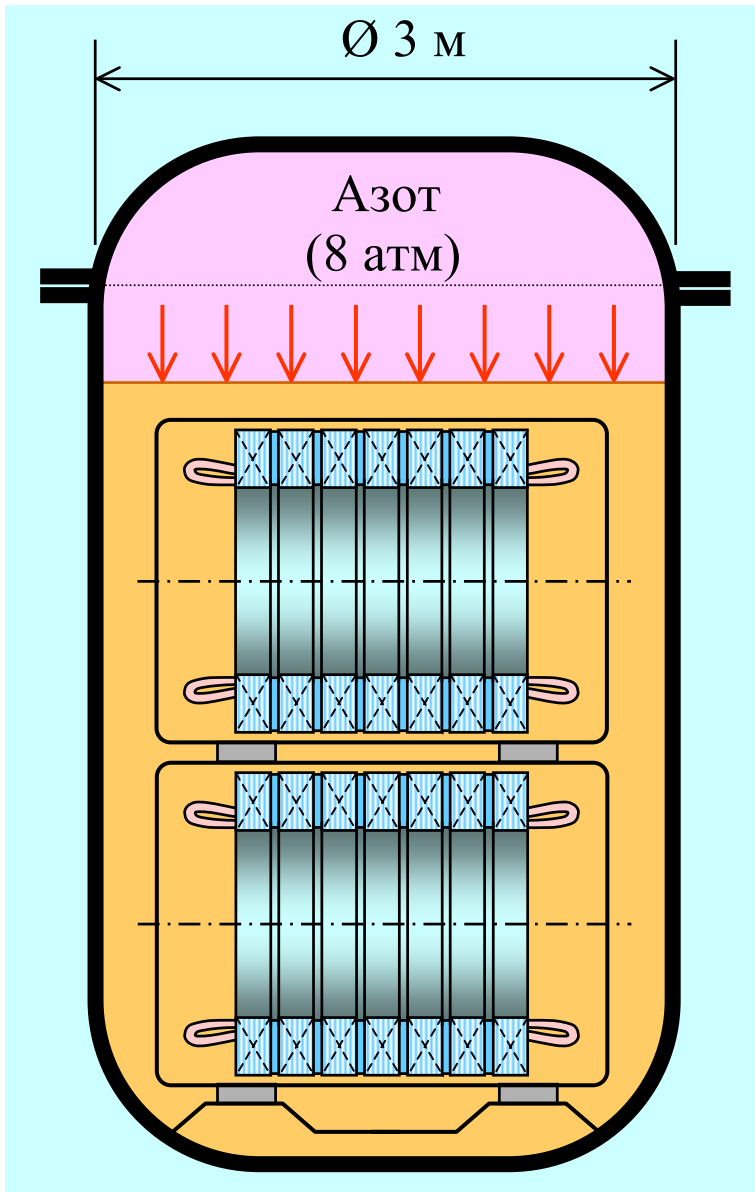


Роторы
асинхронных
двигателей перед
сборкой машин

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.



На «Сибэлектротяжмаше» (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.

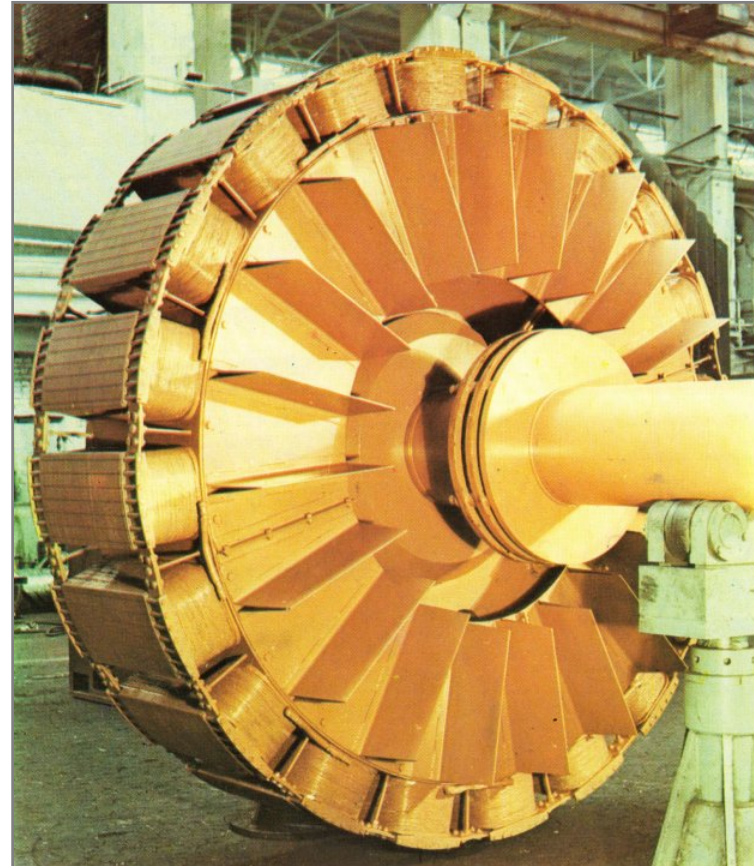
Такая пропиточная камера не могла окупить себя практически никогда.

ПРОБЛЕМА

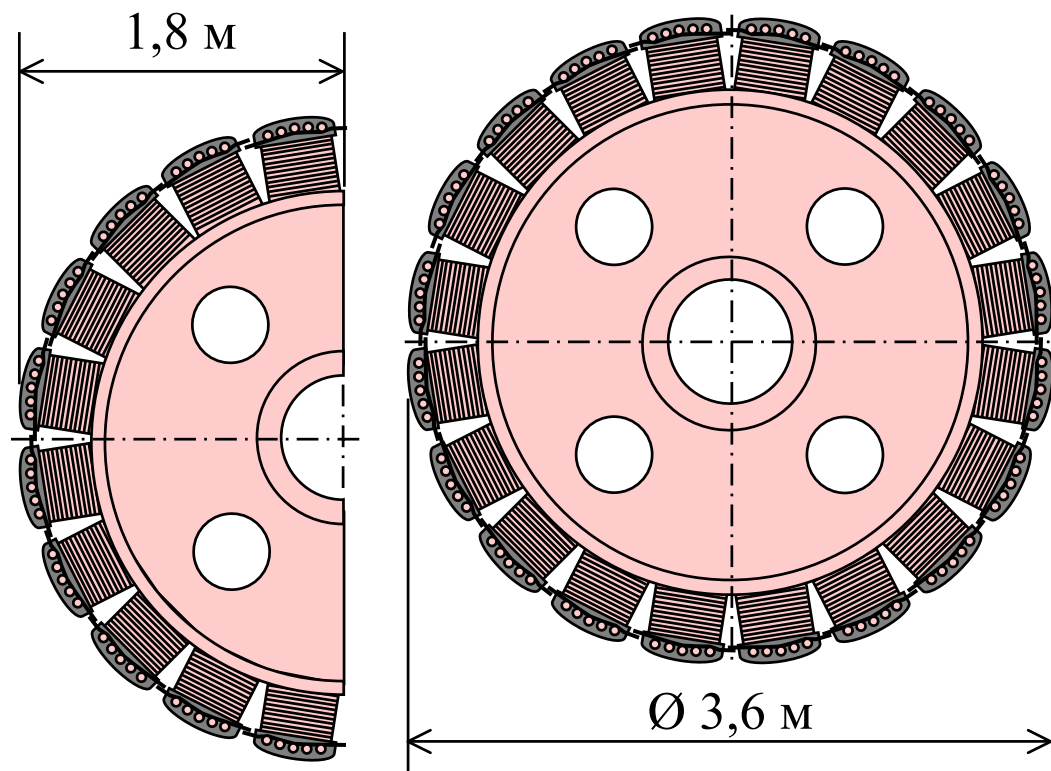
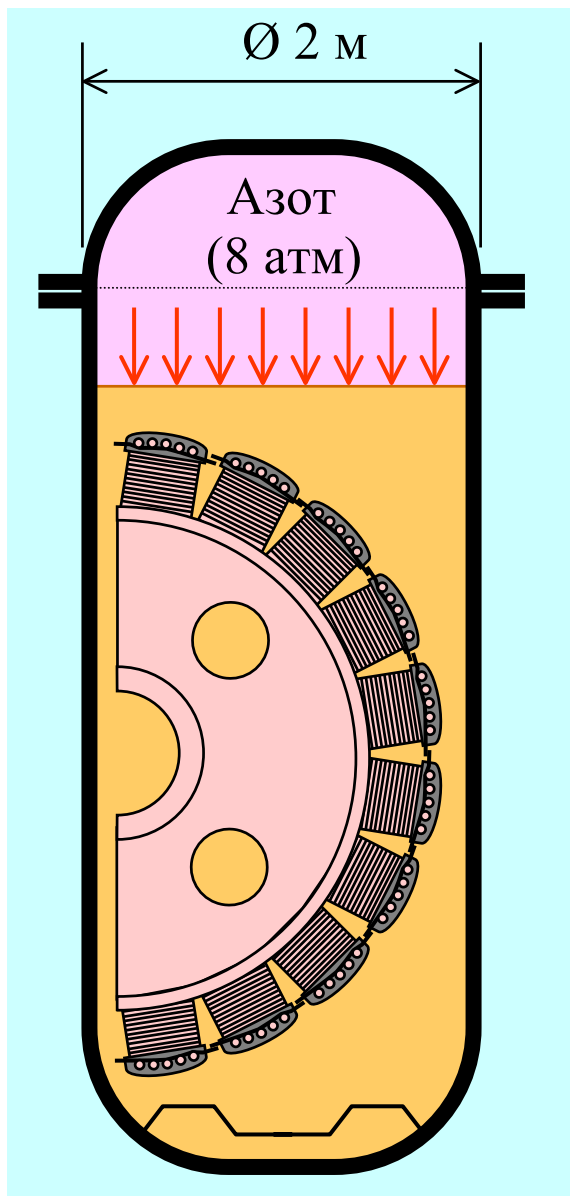
В 1986 году на «Электросилу» обратились строители ленинградской защитной дамбы от паводков и наводнений. Электрические машины, которые служили приводом для насосов мощного земснаряда, из-за повышенной влажности и постоянных перегрузок часто выходили из строя.

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

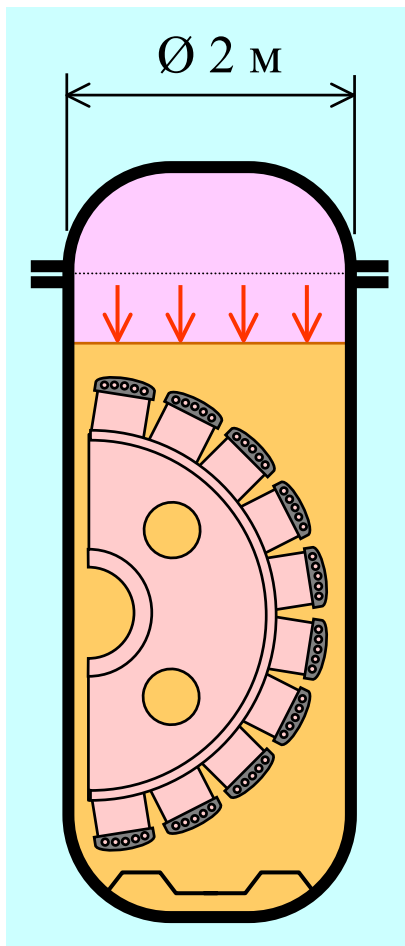
Но как пропитать в эпоксидном компаунде ротор диаметром 3,6 метра, если диаметр камеры всего 2 метра?



Ротор синхронной тихоходной машины
Rotor of Slow-Speed Synchronous Machine



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.

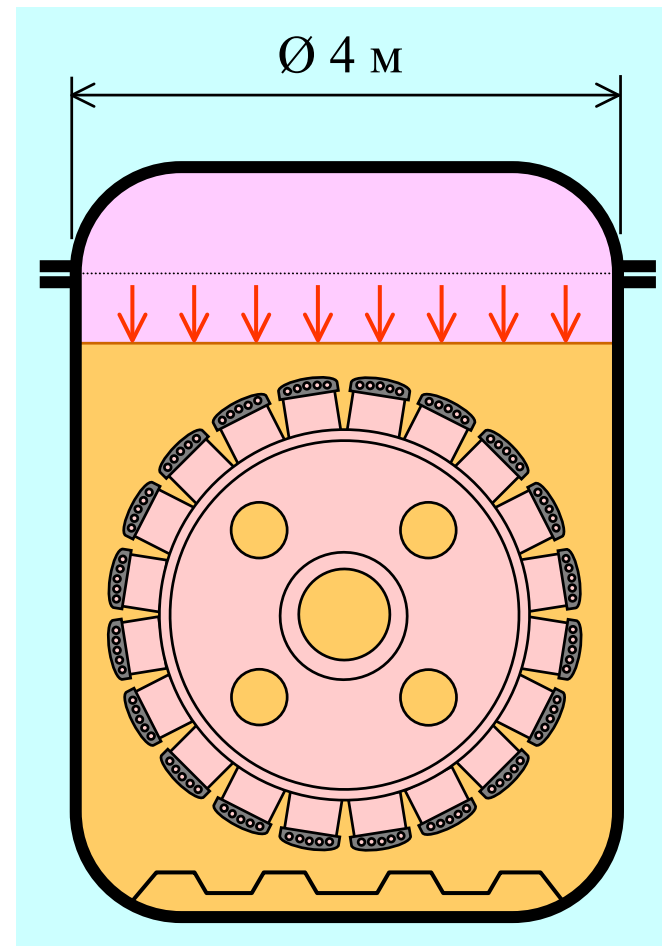


Возникло противоречие
(записано по форме
шага 1.1 АРИЗ-85-В):

Техническая система:

для пропитки эпоксид-
ным компаундом изо-
ляции электрических
машин; включает про-
питочную камеру, эпо-
ксидный компаунд, ро-
тор крупного электро-
двигателя

- Существующая пропиточная камера
- Разрезанный ротор



- Требуемая пропиточная камера увеличенного размера
- Целый ротор

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:

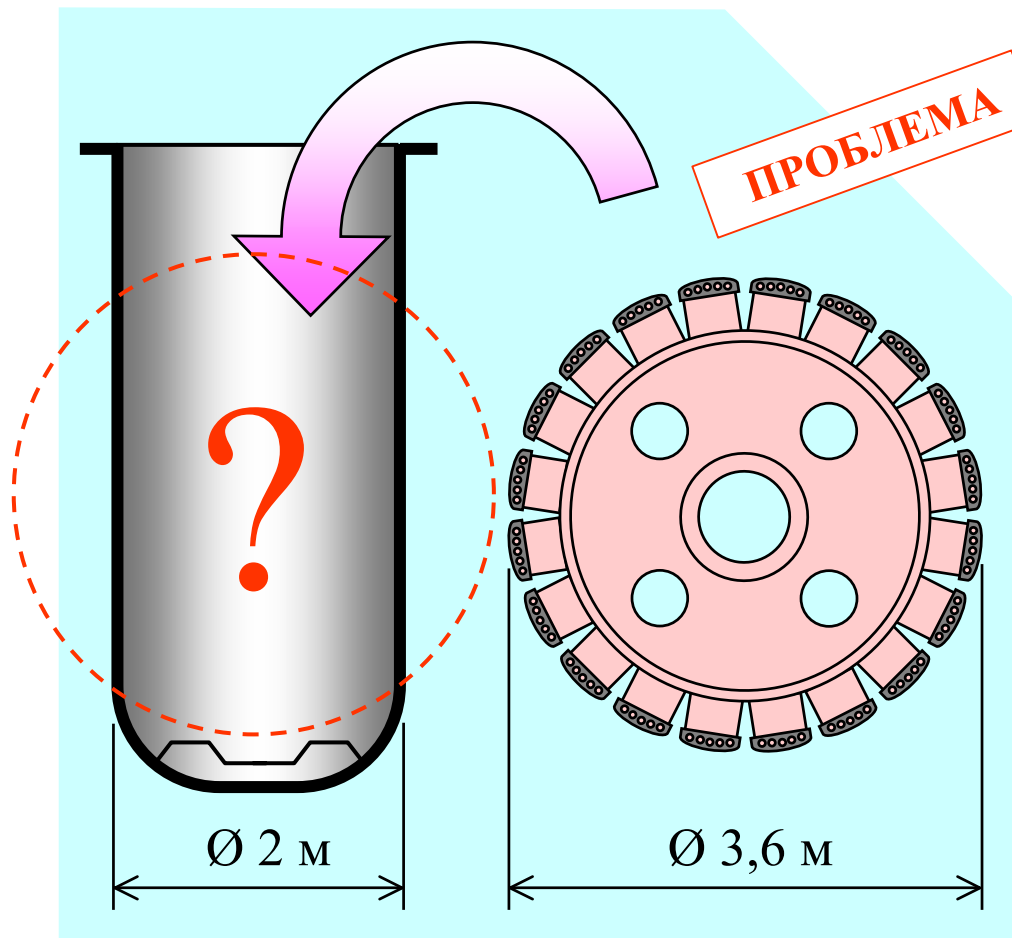
ЕСЛИ ИЗГОТОВИТЬ НОВУЮ БОЛЬШУЮ КАМЕРУ, ТО В НЕЙ МОЖНО БУДЕТ ПРОПИТАТЬ РОТОР ЦЕЛИКОМ, НО СТОИМОСТЬ ОБОРУДОВАНИЯ БУДЕТ НЕДОПУСТИМО ВЫСОКА



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.



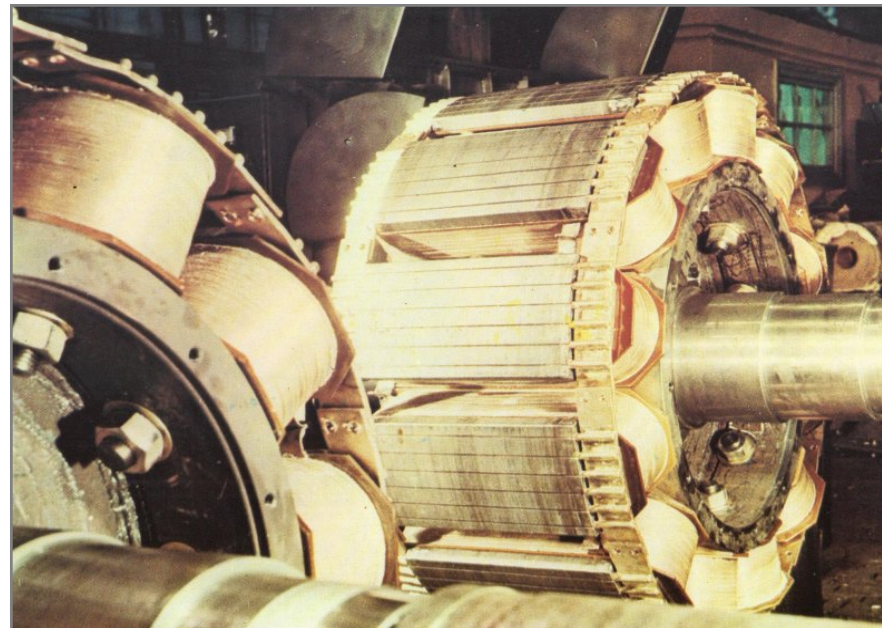
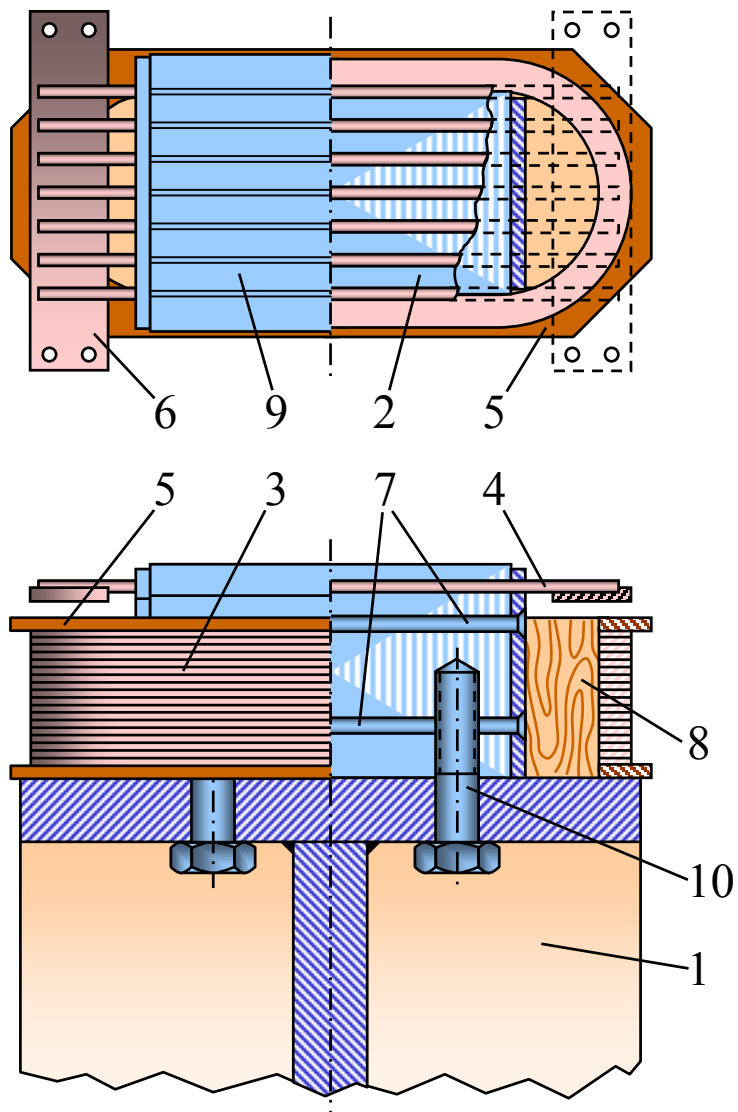
По сути задача чисто геометрическая: как большой ротор не разрезая, целиком, поместить в маленькую емкость?

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.

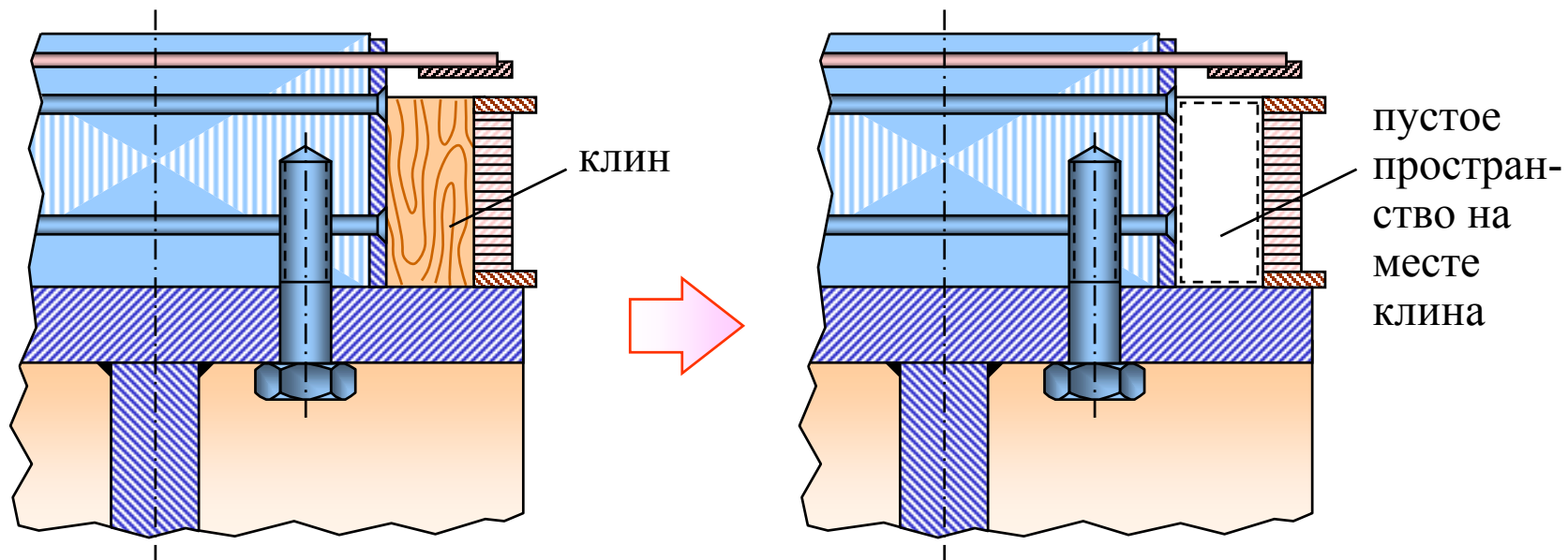
При этом конструкция ротора и свойства компаунда хорошо известны специалистам.



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 |

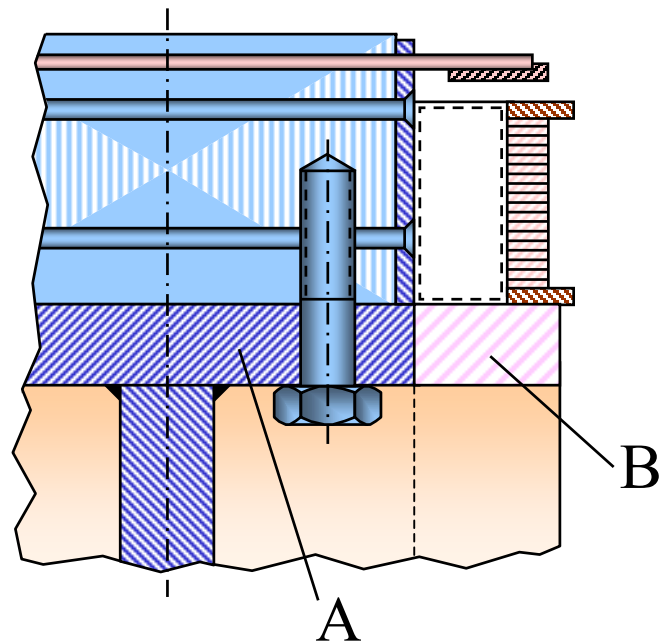


Эпоксидный компаунд по сравнению с лаком обладает повышенной механической и электрической прочностью, а также более высокой адгезией.

Функция клина «Удерживать катушку» в новых условиях становится не

нужной, т.к. катушка к сердечнику прочно приклеена компаундом.

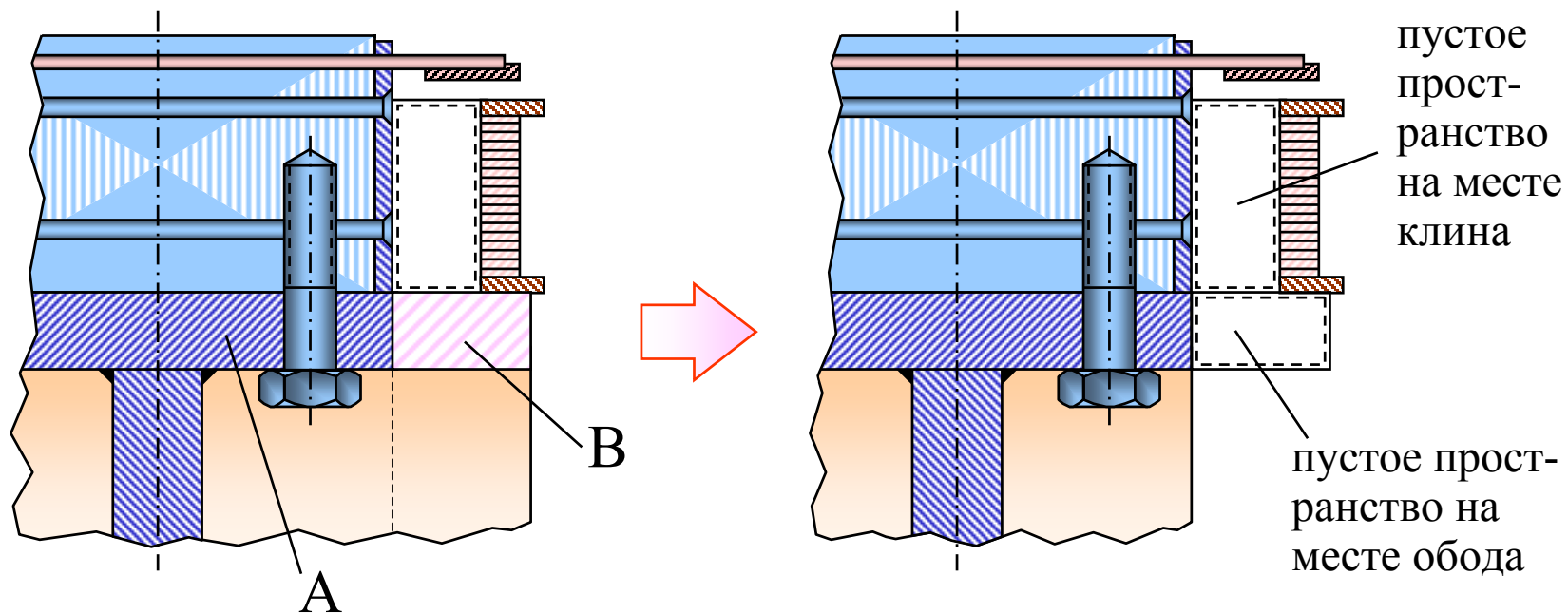
Однако большого выигрыша это не дает, так как стоимость двух деревянных клиньев всего 2 руб. Отмечаем ресурс: «пустое пространство».



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



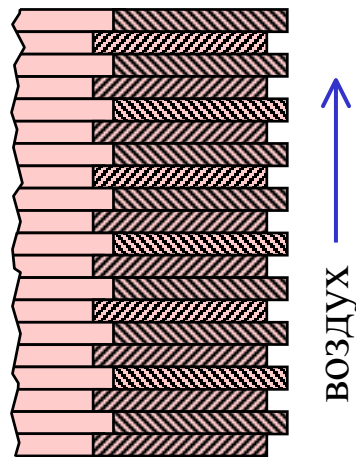
Остов ротора тихоходного двигателя
Rotor Body of Slow-Speed Motor



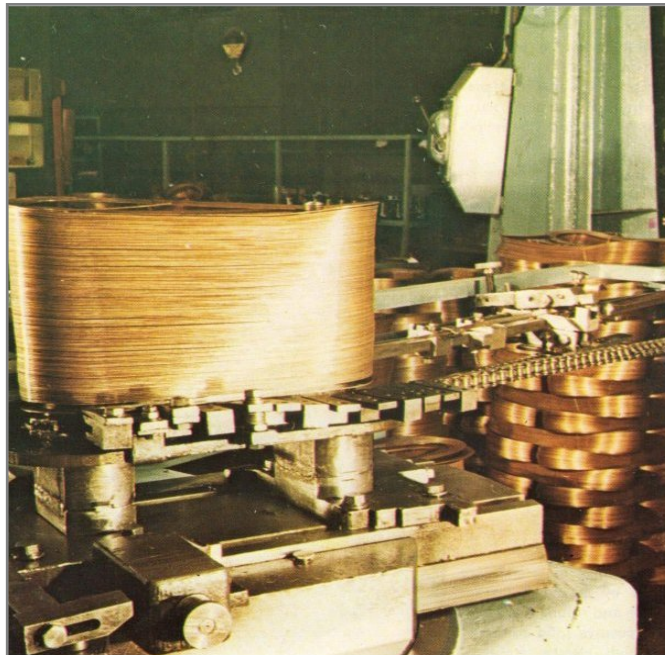
Благодаря пропитке катушка становится прочной и поддерживать ее нет необходимости. Поэтому обод с обеих сторон можно обрезать. Это значительно снижает его вес и затраты на материал.

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.

ПРОБЛЕМА



Лобовая часть катушки с выступающими витками

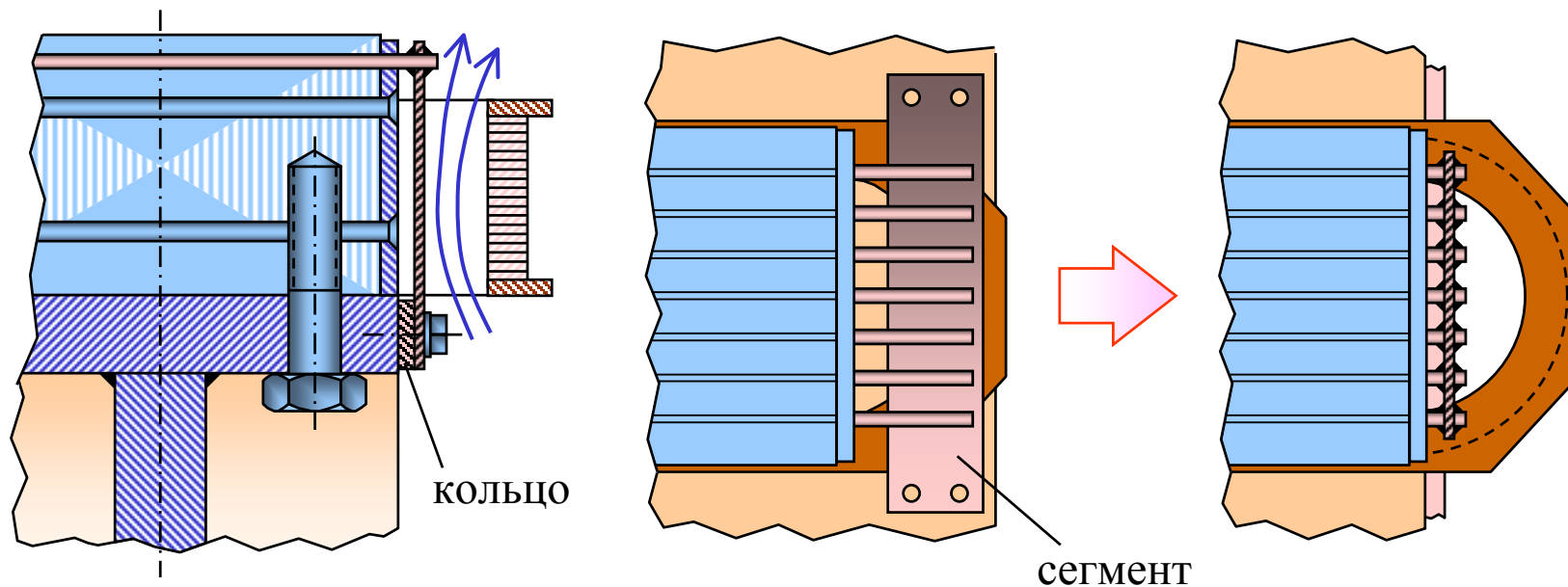


Станок для намотки полюсных катушек синхронных машин

Winding Machine for Making Field Coils of Synchronous Machines

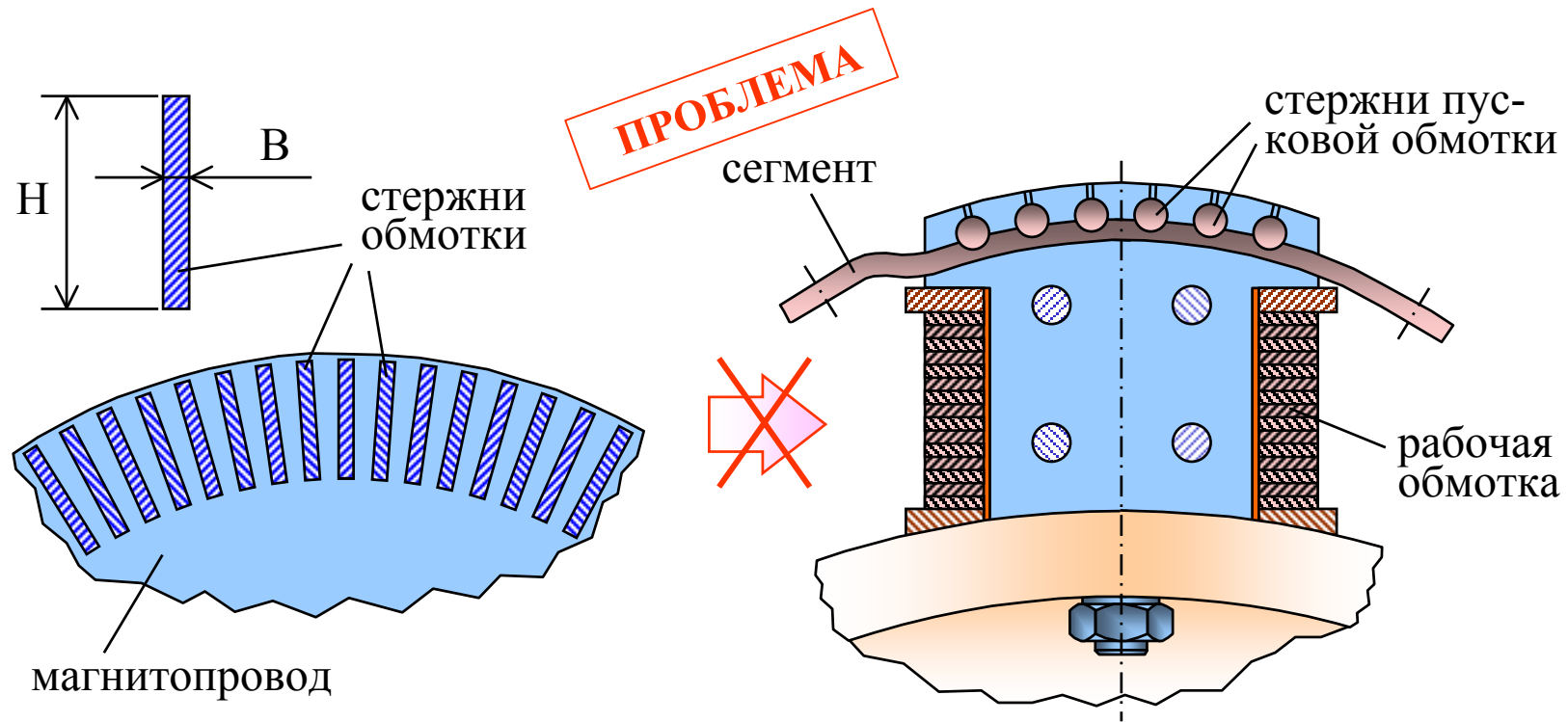
Иногда в машинах большой мощности для увеличения поверхности охлаждения катушек им в торцевой (лобовой) части придают гребенчатое очертание. Однако наматывать такие катушки очень трудно, т.к. фактически

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.



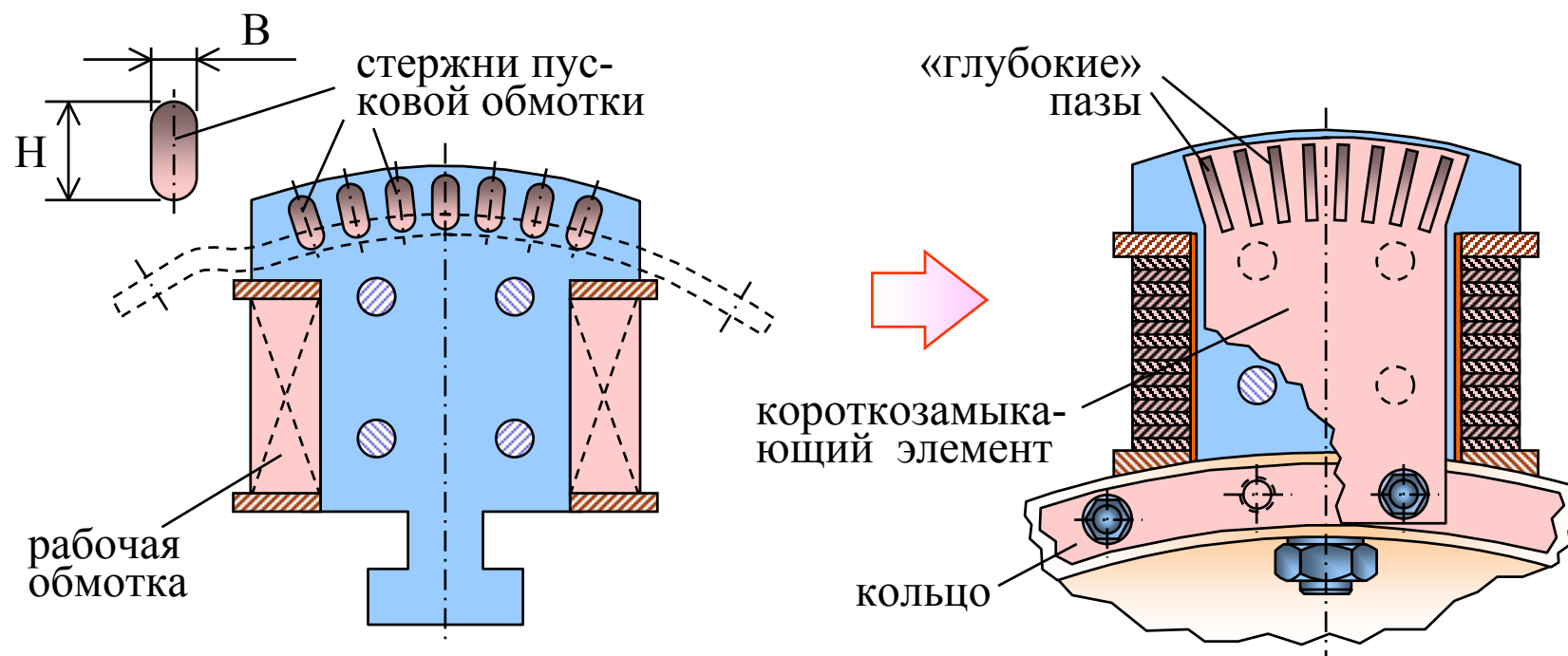
Образовавшийся сквозной канал дает двойную пользу – открывается внутренняя поверхность рабочей катушки, что увеличивает ее обдуваемую площадь на $\approx 30\%$. Кроме того, в канале можно разместить короткозамыкающие элементы пусковой обмотки.

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 $\approx 20\%$.



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,

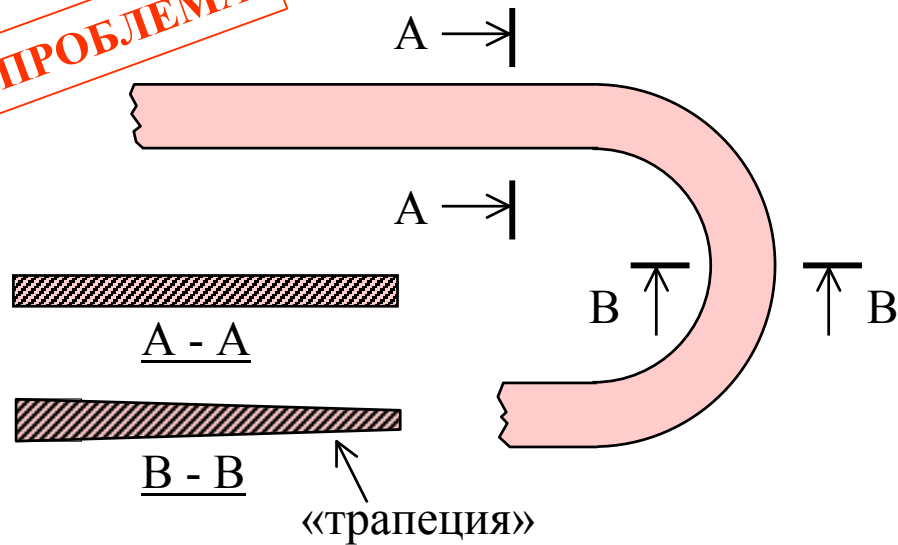
соединяющие стержни пусковой обмотки, размещены над рабочей обмоткой, поэтому любая попытка углубить стержни в тело сердечника, чтобы улучшить пусковые характеристики, приводит к снижению высоты рабочей обмотки и, как следствие, к ухудшению рабочих характеристик.



Например, в 80-е годы на заводе ЧКД «Прага» выпускали синхронные явнополюсные электродвигатели со слегка углубленными пазами ($B / H \approx 1 / 2$). Однако при таком соотношении размеров стержней пусковые характеристики машины улучшались незначительно, а рабочие страдали довольно сильно.

В новом полюсе короткозамыкающие элементы размещены внутри рабочей обмотки («матрешка»), поэтому «глубокие» пазы впервые за время существования машин такого типа (более 100 лет) можно выполнять беспрепятственно. Пусковой момент при этом должен увеличиться не менее чем на 25 %.

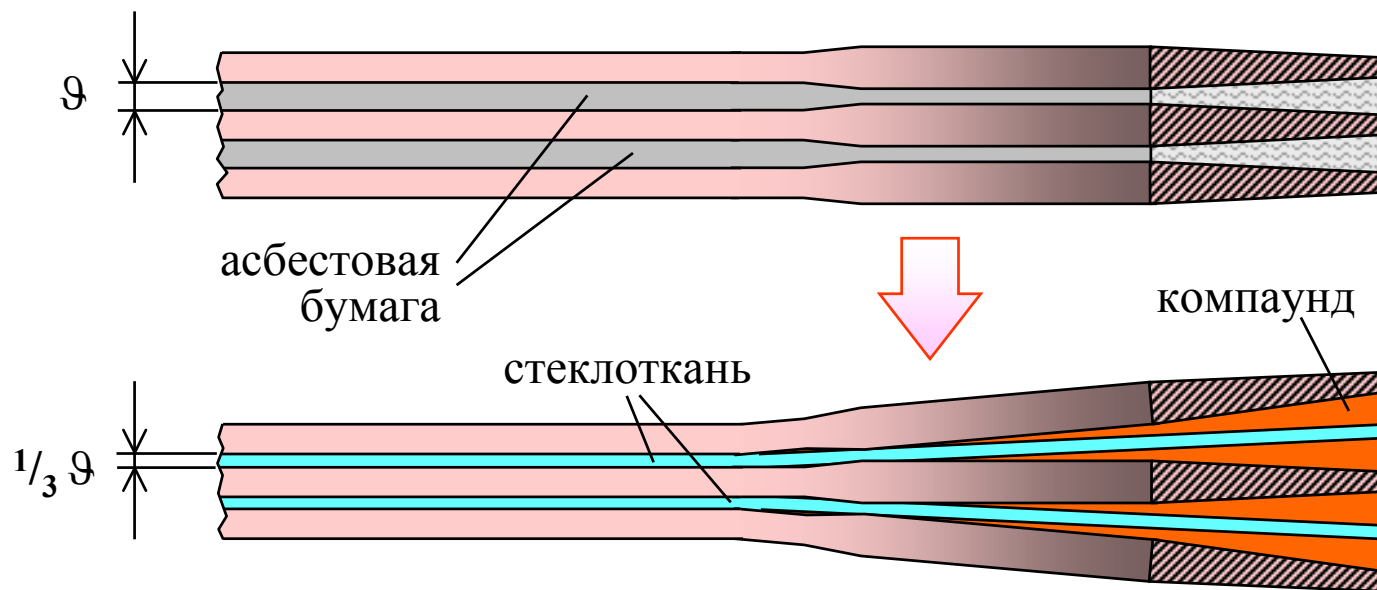
ПРОБЛЕМА



При изгибе медной шины на ребро в области лобовых частей на витках образуются местные утолщения (так называемая «трапеция»). Известны десятки способов борьбы с «трапецией», но нет ни одного хорошего. Поэтому в качестве межвитковой изоляции используют листовую асбест – он способен сжиматься и заполнять пустоты. Однако работа с асбестом грязная и тяжелая, кроме того, он вреден для здоровья (канцерогенный материал).

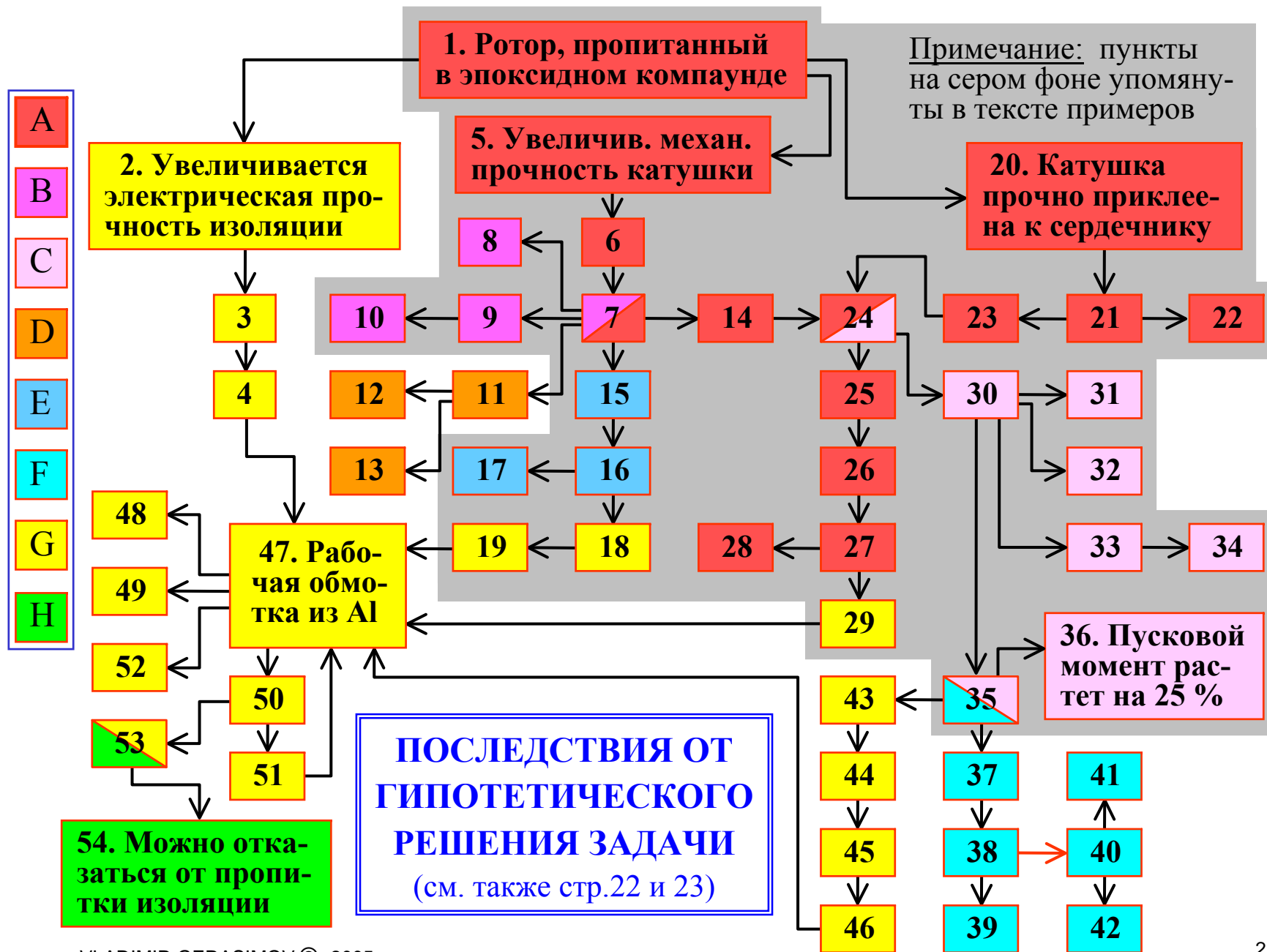
Полюсные катушки
синхронных машин

Field Coils of
Synchronous Machines



В новом полюсе появляется возможность использовать вместо асбеста другую, более прочную, изоляцию, например, стеклоткань. Так как она примерно в 3 раза тоньше, высота катушки уменьшится на 10 %. За счет этого можно увеличить число витков

рабочей катушки (вырастет магнитодвижущая сила). Небольшой «веер» в лобовых частях катушки не мешает, так как эти части сейчас не опираются на остов ротора. Все зазоры между витками заполнены эпоксидным компаундом (показано не в масштабе).



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

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

ОСНОВНЫЕ ГРУППЫ ПРЕДЛОЖЕНИЙ

(к стр.21 и 22)

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

ПЕРЕХОД КОЛИЧЕСТВА В КАЧЕСТВО

«Допустив недопустимое», т.е. предположив, что задача решена, мы получаем предложения, часть из которых не очень крупные и особого 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 Богорода

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).



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

№ SU (сп) 1451802 А1

СП 4 Н 02 К 1/24

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(21) 4242927/24-07

(22) 11.05.87

(46) 15.01.89, Бюл. № 2

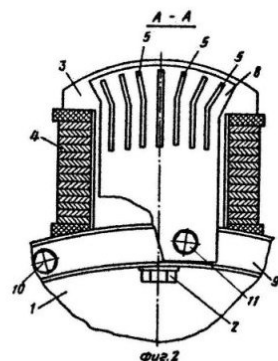
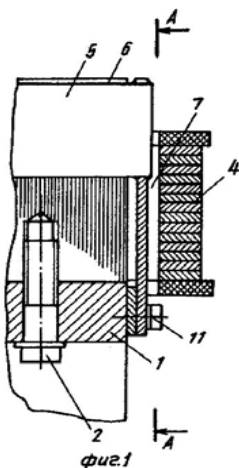
(71) Ленинградское производственное
электромашиностроительное объедине-
ние "Электросила" им. С.М.Кирова
(72) В.М.Герасимов, С.С.Литвин
и В.Б.Пинский

(53) 621.313.04 (088,8)

(56) Блкенкранц Д.М. Технология
крупного электромашиностроения.
Крупные машины. Т.3. Л., 1981,
с.222, рис.9-1.

(54) РОТОР синхронной явнополюсной
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

(57) Изобретение относится к области
электромашиностроения. Цель изобре-
тения - повышение надежности при
обеспечении пусковых характеристик.
Ротор содержит остов 1, на котором
закреплены сердечники полюсов 3 с
катушкой возбуждения 4. Пазы 5 уг-
лублены в тело сердечника полюса 3
ниже уровня верхнего торца катушки
4. В пазах 5 уложены стержни, торцо-
вая часть которых размещена в зоне
лобовых частей катушек возбуждения 4.
Здесь же установлены к.з. элементы 8,
верхняя часть которых соединена со
стержнями, а нижняя - с кольцом 9,
жестко прикрепленным к остову 1,
образуя пусковую обмотку ротора. 2ил.



№ SU (сп) 1451802 А1

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 дополнительно введенным кольцом, жестко прикрепленным к торцу остова ротора.