

ДЕШЕВАЯ И БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНИКА

Владимир Герасимов
gerasimovvladimir@gmail.com

по публикации на сайте <http://www.metodolog.ru>

*Когда речь идет об экономии, то никаких денег не жалко.
Грустная шутка из застойных времен*

Тот, кто хоть немного понимает в жизни, сразу скажет, что так не бывает – техника либо безопасная, но при этом совсем не дешевая, либо она действительно дешевая, но, как правило, далеко не безопасная. И все же случаются исключения из этого правила.

* * *

Несколько дней назад пришло письмо от Александра Владимировича Кудрявцева, редактора уважаемого мною сайта "METHODOLOG.RU". "Если будет минутка, – писал он, – подумай над таким вопросом: приближается 26 апреля – 20 лет со дня Чернобыля. Я знаю, что у тебя есть изобретение по тематике безопасности атомных реакторов. Может быть напишешь несколько строк про предысторию его создания, а потом можно будет дать само изобретение – описание или хотя бы формулу... Мне кажется, что это было бы очень здорово – рассказать об этом, пусть и очень кратко. Тем более, что оно было внедрено. Как думаешь?"

Я немного подумал, а потом позвонил в Москву и отказался. Пишу я медленно, история длинная, времени до 26 апреля осталось мало; если просто привести описание изобретения, будет не понятно, так как там на рисунке все показано очень схематически. Перед отпуском работы невпроворот... В общем, не могу.

Александр Владимирович не настаивал. Но мысли про печальный юбилей не уходили. Постепенно вспомнились события, которые, с одной стороны, были очень давно, а с другой – даже трудно поверить, что прошло уже 20 лет. Моего одноклассника, с которым мы рядом за партией сидели, Чернобылем накрыло, а я так и не знаю о его сегодняшней судьбе... Да, есть у меня авторское свидетельство на датчик положения регулирующего органа в активной зоне ядерного реактора (сейчас это два патента – России и Украины); внедрено оно после Чернобыля. Уже много лет эти датчики безотказно работают и в России, и за рубежом... Нам с моим соавтором за него дважды выплатили солидное вознаграждение. Так тоже не часто бывает, обычно одного не дожدهшься, а тут дважды и солидное... В общем, очень захотелось рассказать эту историю.

Я написал об этом Александру Владимировичу, потом мы поговорили по телефону, и вот до чего договорились. Сейчас я коротко изложу только те проблемы, с которыми задолго до Чернобыля пришлось столкнуться специалистам, проектировавшим датчики и у нас, и за рубежом. А летом, когда я буду в России, мы встретимся с моим соавтором, Романом Владимировичем Гулкой, посидим, повспоминаем и расскажем продолжение этой истории. Это будет еще тем хорошо, что про ядерные реакторы, системы управления и защиты (СУЗ) и датчики он знает гораздо больше и лучше моего и, как говорится, соврать не даст. Ведь я с завода уволился 18 лет назад, а он продолжает там работать и вживую занимается всеми этими системами до сих пор. Да и должность у него теперь такая, что все знать положено – заместитель Главного конструктора.

* * *

В 1979 году я уже больше 10 лет работал в отделе Главного конструктора на Ленинградском электромашиностроительном заводе (ЛЭЗ), 2-м заводе объединения "Электросила". Так получилось, что хотя я по специальности и был инженером по электрическим машинам, заниматься приходилось товарами народного потребления (по-простому – ширпотребом). В это время в Институте повышения квалификации Минэлектротехпрома, располагавшемся рядом с 1-м заводом "Электросила", шли занятия по ТРИЗ и ФСА (функционально-стоимостному анализу). Вел занятия Борис Львович Злотин, руководитель службы ФСА головного завода. Правдами и неправдами я постарался попасть на этот месячный семинар. Однако, часто приходилось сначала "появиться" у себя на работе, быстро уладить горящие дела, а затем уже добираться в город на автобусе или электричке. Этот путь занимал час-полтора, а то и больше – как повезет.

Чтобы было веселее, я подбил на обучение своего доброго приятеля Романа, земляка и "одноклассника" по Львовскому политехническому институту (мы учились на одном факультете, только я на несколько лет раньше). На ЛЭЗ'е Роман работал в отделе, проектировавшем СУЗ'ы для атомных станций. Ему, как и мне, был не чужд изобретательский дух.

Ближе к концу занятий Борис Львович попросил слушателей семинара выбрать тему выпускной работы. Надо было взять реальную производственную проблему, сформулировать изобретательскую задачу, решить ее с помощью инструментов, о которых он нам рассказывал и оформить отчет о проделанной работе. Потом, в день защиты выпускных работ, надо было выступить перед группой и приемной комиссией и показать то, что получилось. А затем уже, в зависимости от обстоятельств, оформить на работе рацпредложение или заявку на изобретение.

Я выбрал тему "Изменение способа раскрытия листового изоляционного материала". Упомяну только, что удалось найти хорошее решение, позволившее сильно экономить этот дорогостоящий материал, было оформлено и внедрено рацпредложение. Но это все от-

дельная история, тянувшаяся несколько лет; она довольно интересная, и я ее расскажу как-нибудь в другой раз.

Роману начальник предложил в качестве объекта анализа взять датчик серии ЛД (линейный датчик), который делали на нашем заводе, и цель поставил такую – попробовать упростить конструкцию и, за счет этого, снизить себестоимость.

Б.Л.Злотин не возражал, чтобы мы решали свои проблемы вместе, помогая друг другу. Роман подключился к обучению не с самого начала, и кое в чем я помогал ему разобраться. Поэтому, когда дошло до выпускной работы, мы начали делать ее вместе. Тем более, что мне самому было интересно "потрогать" серьезную технику, а не привычные уже электромясорубки, соковыжималки и даже электрические машины, которые меняются очень редко. Но в транспорте чертеж не развернешь, поэтому объяснялись мы преимущественно "на пальцах" или на клочках бумаги – почеркушках.

Роман говорил мне примерно так:

– Представь себе колодец, в котором ведро с водой поднимают с помощью длинного шеста с крючком на конце (рис.1).

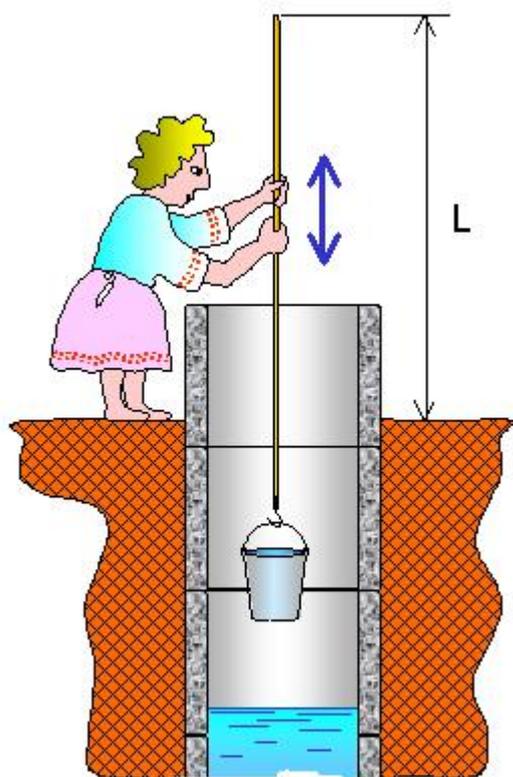


Рис. 1.

Мне это было легко представить, так как я родился и прожил до 17 лет в деревне. Не раз самому приходилось пользоваться таким простым и, в то же время, надежным способом. По длине шеста, торчавшего над землей, можно было судить, далеко ли до воды.

– Теперь представь трубу (рис.2); снаружи на ней расположены катушки индуктивности, а внутри на конце штока размещен магнитный шунт. Что будет, если мы начнем перемещать шток вверх-вниз?

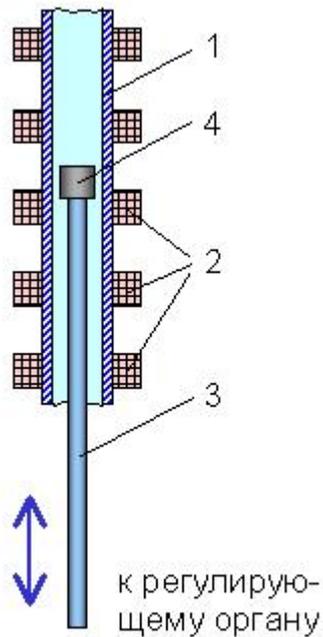


Рис.2. 1 – труба; 2 – катушки индуктивности; 3 – шток; 4 – магнитный шунт

– Ясно, что будет... Индуктивность у катушек будет меняться, при этом и ток, который по катушкам идет, тоже поменяется. А уже по этому изменению можно будет судить, где находится шунт... А как вы шток вверх-вниз перемещаете?

– Это неважно, мы же сейчас про датчики говорим, а не про привод. Но вообще-то все очень просто. Раньше, например, делали так: шток выполняли в виде зубчатой рейки и перемещали ее с помощью электродвигателя с редуктором (рис.3 и 4).

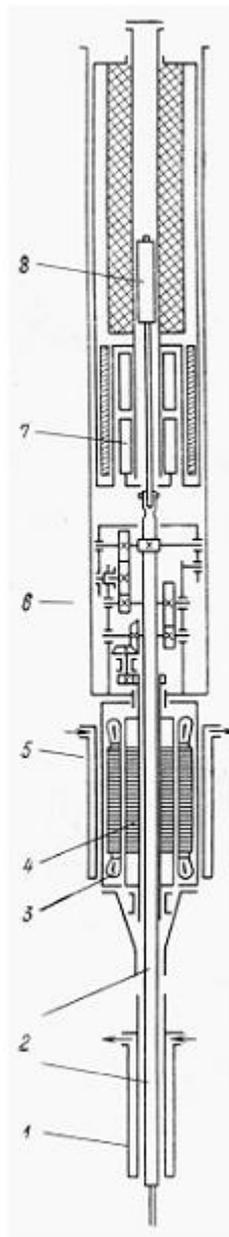


Рис.3. Схема механизма управления ВВЭР-440 (1-я модификация): 1 – охладитель; 2 – рейка; 3 – статор электродвигателя; 4 – ротор электродвигателя; 5 – охладитель; 6 – редуктор; 7 – узел отключателя; 8 – индуктивный датчик положения [1, рис. 3.15]

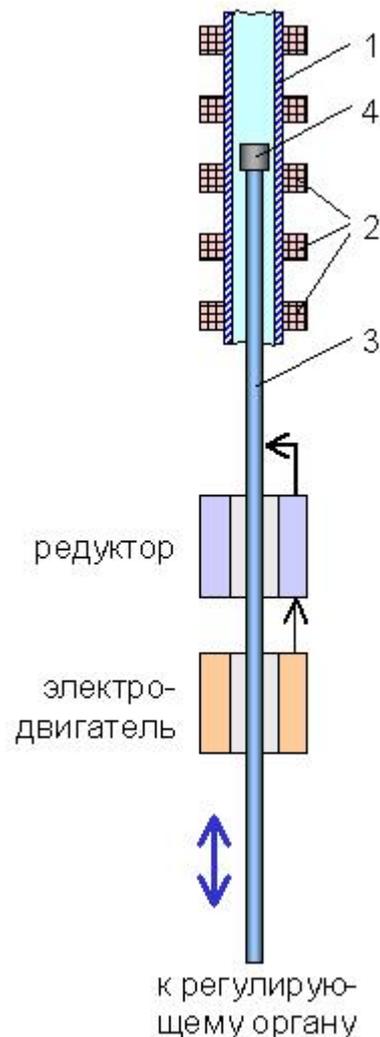


Рис.4. 1 – труба; 2 – катушки; 3 – шток; 4 – магнитный шунт;

– Получается, что все у вас хорошо и никаких проблем?

– Нет, не так. Сложности есть, но они больше из-за условий эксплуатации. Все элементы механизма управления – двигатель, редуктор, шток, шунт и т.д. – находятся в воде первого контура. Давление там сотни атмосфер, температура больше 100 градусов по Цельсию, сильная радиация. Воду хоть и фильтруют, но все же возможны отложения

на деталях, поэтому стараются делать меньше трущихся поверхностей. Туда ведь не заберешься и не почишь... После начала эксплуатации доступа внутрь нету минимум 5 лет, а потом этот срок может быть продлен. Поэтому все материалы используются только самые прочные, их обрабатывать очень трудно. Датчик стоит дорого, несколько тысяч рублей...

– А у американцев как, они ведь тоже атомные станции строят?

– Если судить по публикациям, например, по патенту 1974 г. № 3 846 771, то все очень похоже (рис.5 и 6). Фактически система индикации аналогична нашей, показанной на рис.4. Не очень понятно только, кто у кого "содрал"...

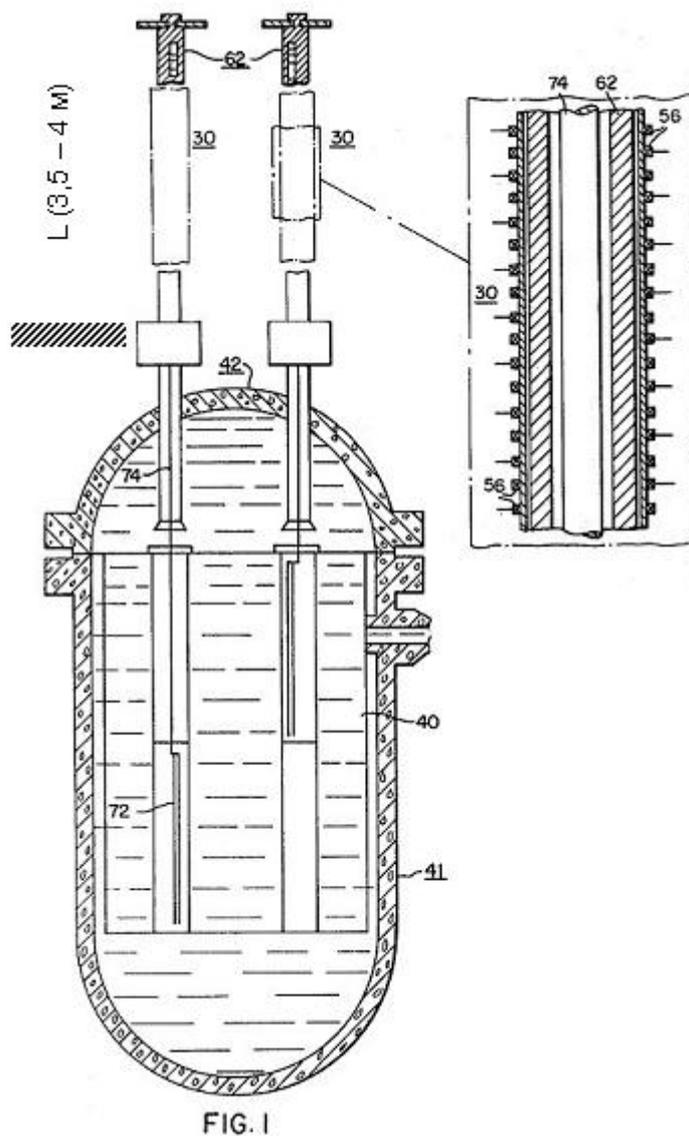


Рис.5. 72 – регулирующий орган; 74 – шток; 62 – труба; 30 – датчик положения; [2]

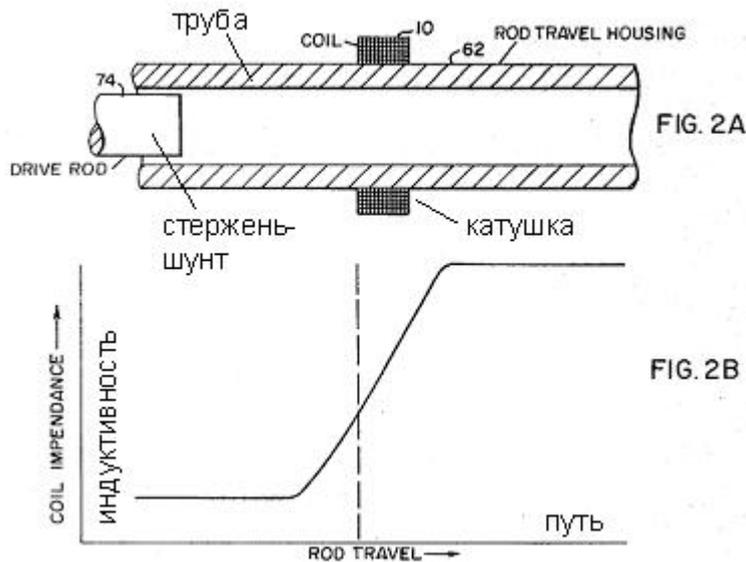


Рис.6. График изменения индуктивности катушки [2]

– Ты сказал: "Раньше"... А что было позже?

– На некоторых станциях, например, "Ловиса" в Финляндии, применили привод с более простой кинематической схемой (рис.7). Там двигатель низкооборотный, это удобнее. Поэтому и линейный датчик удалось сделать по-другому. Хотя он и стал более сложным кинематически, но зато теперь по размерам гораздо компактнее предыдущего (рис.8).

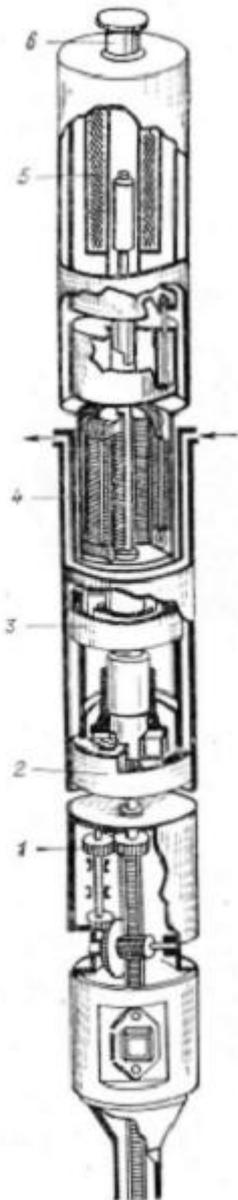


Рис. 7. Схема механизма управления ВВЭР-440 (2-я модификация): 1 – редуктор; 2 – пружинный демпфер; 3 – центробежный тормоз; 4 – электродвигатель; 5 – датчик положения; 6 – электроввод [1, рис. 3.20]

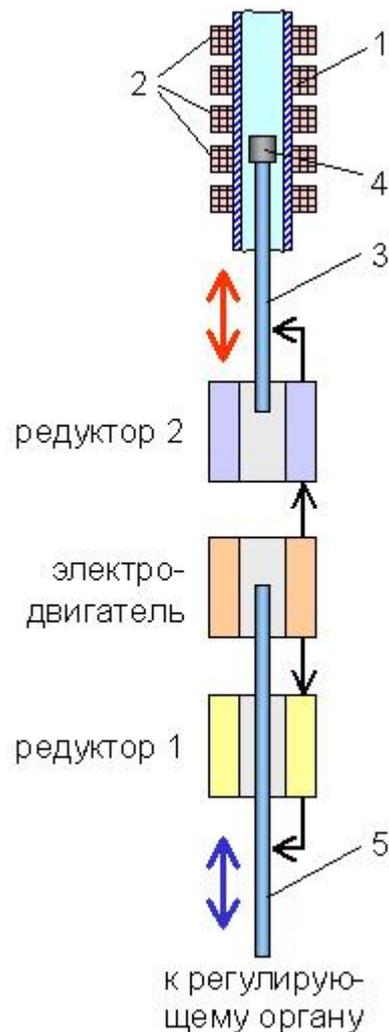


Рис. 8. 1 – труба; 2 – катушки; 3 – шток № 1; 4 – магнитный шунт; 3 – шток № 2;

– Послушай, Роман... Ты сказал, что датчики и так дорого стоят. Зачем же тогда понадобилось их усложнять, ведь теперь они стали еще дороже?

– Ты прав, но не все так просто... Конечно, хотелось бы иметь датчики подешевле, кто спорит? Но надо учитывать еще одно обстоятельство. Датчики возвышаются над уровнем пола машинного зала (рис.9). Когда на 3,5– 4,0 метра, то это одно, а когда в 3 раза меньше, совсем другое. Устанавливают и снимают датчики с помощью крана, который

перемещается под самой крышей здания станции. Вот и получается, что в первом случае высота стен у здания должна быть на несколько метров больше. А это уже не тысячи рублей... В литературе встречаются приблизительные данные – от 4-х до 5-ти миллионов рублей за один метр высоты капитальных строений АЭС; дальше сам можешь прикинуть...

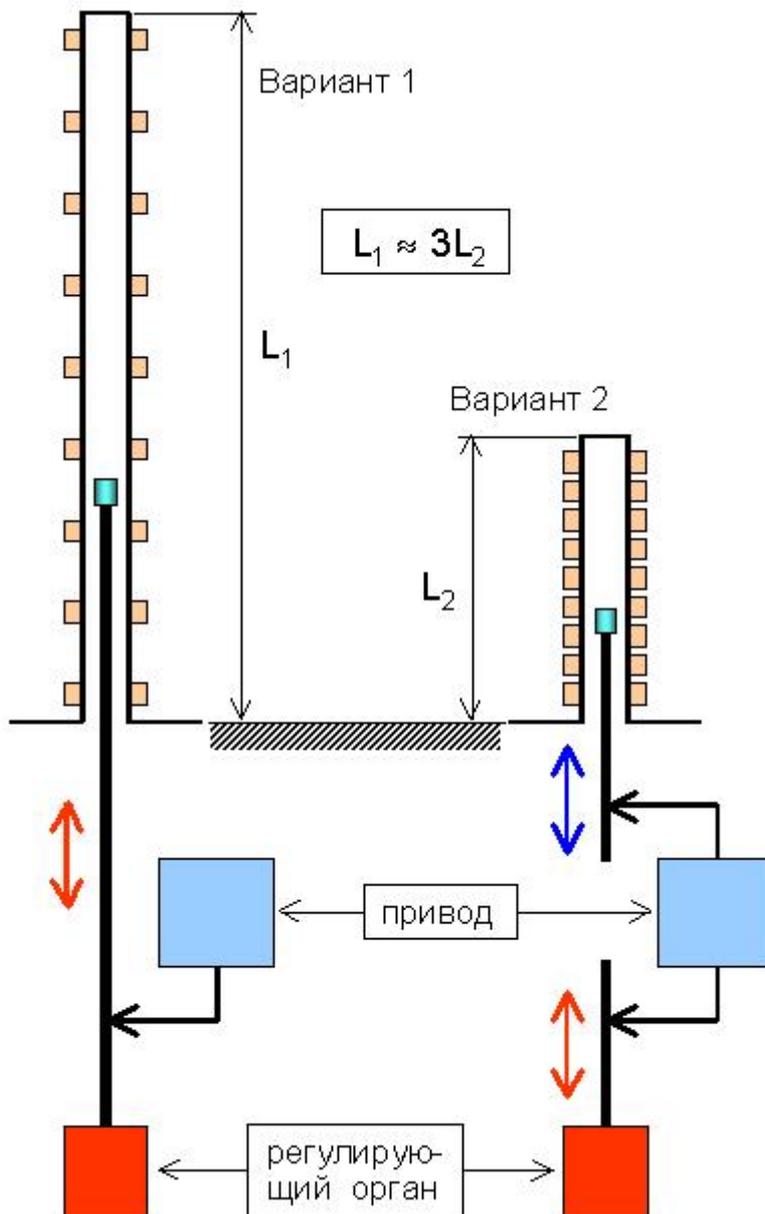


Рис.9.

– Здорово! Проиграли тысячи рублей, а выиграли миллионы. Красивое решение.

– Так-то оно так, да не совсем. Ведь датчик стал сложнее, в нем появился передаточный механизм типа "винт-гайка", т.е. трущаяся пара, подшипники... Надежность при этом, конечно, снизилась, ведь у прототипа нечему было заклинивать и ломаться, а тут есть...

– Но ведь все проверили?

– Конечно. Пока все работает нормально, без сбоев.

– А что начальство предложило в твоей выпускной работе улучшить?

– Договорились, что я посмотрю, нельзя ли конструкцию катушек слегка поменять, уж больно их трудоемко делать. Но внедрить, даже если удастся что-то дельное придумать, будет трудно. Сам понимаешь – конструкция всего механизма управления вместе с датчиком в головном институте в Москве разработана, а мы на нашем заводе делаем эти датчики по готовым чертежам. Любое изменение в чертеже, даже ерундовое, согласовывать очень долго приходится...

– Послушай, ведь если все равно не внедрить, зачем ты будешь с этими катушками возиться? Ну, сделаешь ты их немного дешевле, и что?.. Экономия на высоте стен по сравнению со стоимостью всех датчиков на станции в сто раз больше. А ведь ты, скорее всего, не сможешь сильно упростить и удешевить катушки. Стоит ли тогда время тратить? Давай лучше задачку покруче порешаем, ведь сам видишь – тут четкое противоречие просматривается... Чем ситуация для датчика лучше, тем она для станции хуже и наоборот.

– Давай, – легко согласился Роман. У моего земляка покладистый характер, и подбить на авантюру его не трудно. Может и другими немного словами мы все это обсуждали, этого я, конечно, не помню, 27 лет прошло, но за смысл ручаюсь – все так и было.

Мы вместе сформулировали техническое противоречие (рис.9):

- если магнитный шунт датчика связан с регулирующим органом ядерного реактора напрямую, то конструкция получается простая и надежная, но из-за большой высоты датчика приходится увеличивать высоту стен капитальных строений, что сильно удорожает строительство;
- если магнитный шунт связан с регулирующим органом через передаточный механизм, то строения АЭС можно сделать пониже и хорошо на этом съэкономить, но из-за повышенной сложности конструкции снижается надежность работы всей станции.

Можно сказать и короче:

- Если датчики положения работают **НАДЕЖНО**, то станция стоит **ДОРОЖЕ**;

- Если станция сто'ит ДЕШЕВЛЕ, то датчики (а при этом и вся АЭС) работают МЕНЕЕ НАДЕЖНО.

Получилось до боли знакомое, "классическое" противоречие, которое встречается сплошь и рядом буквально на каждом шагу. Осталось только задать такой же классический тризовский вопрос: КАК БЫТЬ?

* * *

На этом предыстория заканчивается. До Чернобыля оставалось еще целых 7 лет.

25 апреля 2006 г.

Литература

1. Емельянов И.Я. и др. Основы проектирования механизмов управления ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1978
2. Патент США № 3 846 771, кл. 340-195 POSITION INDICATION SYSTEM (заявлено 3 янв. 1973 г., опубликовано 5 ноя. 1974 г.)