

М. В. Шабанов,
А. И. Разумный

УСТАНОВЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СФЕРЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ МЕТРОЛОГИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Сфера законодательной метрологии (СЗМ) определяется Законом Республики Беларусь от 05.09.1995 № 3848-XII «Об обеспечении единства измерений» (ред. 2019 г.) [1] и иными законодательными актами Республики Беларусь в областях, где осуществляются государственное регулирование и метрологический надзор (атомная энергетика, безопасность государства).

Государственное регулирование и управление ставит задачей минимизацию рисков возникновения неуправляемой ситуации, которая может негативно сказаться на экономической, социальной и других сторонах функционирования государства. В части применения средств измерений (СИ) в СЗМ неуправляемая ситуация возникает, когда точность измерений, включая погрешность используемых СИ, превышает установленные для нее пределы. Например, превышение установленных пределов погрешности измерителя скорости ведет к необоснованным штрафам, а превышение пределов погрешности счетчиков воды – к недополучению оплаты за услуги ЖКХ. Указанные риски существенны как для граждан, так и для государства, в отличие от применения СИ, оказывающих локальное влияние на эффективность работы юридических лиц, которые их используют вне СЗМ.

Одним из основных способов минимизации рисков является периодический контроль правильности показаний СИ, для чего на государственном уровне вводятся соответствующие сроки государственной поверки. В Беларуси таким нормативным правовым актом является постановление Госстандарта от 20.04.2021 № 39 «О перечне категорий средств измерений» [2]. Однако ситуация неоднозначна, поскольку аналогичный смысл вкладывается в межповерочные интервалы (МПИ), указанные в Государственном реестре средств измерений и стандартных образцов Республики Беларусь (Госреестр СИиСО).

До вступления в силу Закона [1] отмечались существенные различия МПИ в СЗМ для СИ, входящих в отдельные группы (категории) средств измерений. Следует учесть, что в Госреестр СИиСО



СИ вносятся в добровольном порядке, а сама процедура представляет независимую оценку качества СИ третьей стороной, что является дополнительным фактором их выбора покупателем. При закупках в государственных целях (ЖКХ, промышленные объекты, мониторинг окружающей среды и т. п.) данный фактор рассматривается как обязательный, несмотря на то, что все еще существует альтернатива в виде метрологической оценки единичных экземпляров СИ. Логично, что МПИ в Госреестре СИиСО должен отражать в первую очередь качественную сторону СИ как обычного товара.

Учитывая массовость и стоимость закупок СИ, применяемых в СЗМ (бытовые счетчики, топливо-раздаточные колонки, измерители скорости, весы и т. д.), МПИ стал играть важную роль в конкурентной борьбе между изготовителями СИ, что недопустимо с точки зрения существования рисков потери СИ своей точности как вследствие естественного износа, так и нарушения условий эксплуатации или мошеннического использования. Иными словами, МПИ в СЗМ связан не только с метрологической надежностью СИ, но и с дополнительными условиями их применения, что объясняет установление государством МПИ в СЗМ порой в несколько раз меньше, чем фиксируется при испытаниях СИ в целях утверждения типа. МПИ в СЗМ можно сравнить с периодичностью

метрологического надзора, целью которого является поддержание управляемой ситуации в промышленности и в большей мере в части выполняемых измерений. Правильным является указание в описании типа средства измерений МПИ, который базируется на показателях надежности, полученных изготовителем при участии проводящего испытания органа.

На данный момент МПИ определяется изготовителем самостоятельно на основании собственных исследований метрологической надежности изготавливаемых СИ в ходе ускоренных испытаний, обработки статистики (метрологических) отказов в эксплуатации, априорной информации по надежности средств измерений, использующих аналогичную элементную базу, и др. Этот подход отличается от принятого в западных странах, где испытания на надежность входят в программу испытаний в целях утверждения типа, полностью реализуемую органом по испытаниям, что обуславливает их достоверность. При первичном выходе на рынок такие МПИ необъективны, поскольку применяются в условиях отсутствия эксплуатационной статистики. Исследования характеристик ведутся в относительно идеальных условиях, в которых не учитываются все ситуации, что могут привести к ухудшению метрологических характеристик или используют вероятностные (приближенные) оценки надежности. Этим обстоятельством порой объясняется многократное различие МПИ для одних и тех же СИ, применяемых в СЗМ и вне ее. Очевидно, что меньшие МПИ в СЗМ обеспечивают более высокий уровень надежности показаний СИ, но в то же время увеличиваются расходы на проведение поверки, которые могут быть значительными, особенно если для поверки приходится останавливать технологический процесс.

Нахождение баланса между затратами на государственную поверку и минимизацией рисков для государства вследствие получения недостоверной измерительной информации является первоочередной задачей для государственной метрологической службы. В этом случае лучше перестраховаться в отношении срока МПИ, чем устранять последствия, имеющие государственные масштабы. Данный подход реализуется постановлением Госстандарта от 20.04.2021 № 39 [2]. Однако обоснованность МПИ в нем порой вызывает вопросы, поскольку отсутствует понятная научно-методическая основа их назначения. Предположительно, большинство МПИ [2] формировалось исходя из опыта эксплуатации СИ времен СССР и уже в наше время стали учитывать априорную информацию из иных источников, например МПИ для аналогичных СИ в странах схожего государственного уклада. С того момента надежность большинства СИ существенно вы-

росла (о чем свидетельствует в том числе статистика эксплуатации), что закономерно отразилось в корректировке МПИ [2] для категорий СИ.

С учетом вышесказанного Госстандартом принято единственно правильное решение вопроса – указание в Госреестре СИиСО для отдельных типов СИ единых для охватываемой их категории СИ МПИ, базирующихся на подтвержденной метрологической надежности. При этом МПИ, оценка которого получена в ходе испытаний в целях утверждения типа, должна быть равна или больше значения, установленного в [2].

Однако при разработке постановления Госстандарта от 20.04.2021 № 38 «Об осуществлении метрологической оценки для утверждения типа средств измерений и стандартных образцов» [3] принято решение не указывать в описании утвержденного типа СИ действительное значение оцененного МПИ, что не позволяет предоставить пользователю независимую от изготовителя оценку надежности СИ. Поскольку СИ утвержденных типов применяются как в СЗМ, так и вне ее, владельцу СИ вне СЗМ остается только верить изготовителю в части рекомендованной им периодичности поверки/калибровки. Учитывая, что в Беларуси значительная часть СИ применяется предприятиями государственной формы собственности, завышенные изготовителем МПИ вне СЗМ могут негативно сказываться на эффективности работы (в частности, из-за потери точности при контроле качества продукции).

Наличие в описании утвержденного типа СИ МПИ для СЗМ приводит к еще одной существенной проблеме – неконкурентоспособности СИ отечественного производства на рынке России (основной рынок сбыта), где для аналогичных СИ МПИ, гипотетически являющиеся реальной оценкой метрологической надежности, выше. МПИ для счетчиков электроэнергии в России составляет 16 лет, в то время как в Беларуси – 8 лет.

Очевидна системная ошибка, связанная со многими факторами, но в основном с государственным регулированием технической характеристики СИ. Резюмируя вышесказанное, СИ в СЗМ должны



проходить контроль согласно МПИ, указанному в постановлении Госстандарта от 20.04.2021 № 39 [2], а Госреестр СИиСО должен включать оцененные при испытаниях, реальные, пусть даже и первичные для условий эксплуатации вне СЗМ МПИ. Данная информация является ориентиром при выборе покупателем того или иного СИ с одинаковыми функциональными возможностями, но требующего меньших затрат на обслуживание в эксплуатации.

В 2017 г. Госстандартом принято решение [4] использовать для обоснования МПИ СИ методы назначения МПИ, регламентируемые в РМГ 74 [5]. Данный шаг стал первым на пути выработки научно-методического подхода к назначению МПИ, но он не исправил обозначенную системную ошибку.

Рассмотрим отдельные моменты практической реализации РМГ 74, так как опыт показывает, что этот документ весьма сложен для понимания и использования. Это побуждает производителей к собственной интерпретации условий определения МПИ и зачастую ведет к отказу Госстандарта в корректировке МПИ.

При назначении первичного МПИ новых типов СИ РМГ 74 предлагает использовать следующие источники информации (п. А.1 РМГ 74):

- результаты испытаний СИ или его отдельных блоков;
- данные о нестабильности элементов СИ, определяющих состояние метрологической исправности СИ;
- показатели надежности СИ, нормируемые или подтвержденные испытаниями;
- данные о МПИ СИ-аналогов, нормируемые или подтвержденные экспериментально.

Здесь следует отметить, что вышеприведенные виды источников информации перечислены в порядке их предпочтительности. Данные о МПИ СИ-аналогов использовать в отношении сложных технических устройств не совсем корректно, поскольку компоновка и сборка похожих функциональных блоков может существенно изменить общую надежность (из-за некачественной пайки, плохой изоляции, локального нагрева, электрических наводок, отсутствия герметичности и т. п.) и, соответственно, требуемый МПИ. Если рассматривать данные о нестабильности отдельных элементов СИ, как правило, электрических, то они либо отсутствуют или носят справочный характер, либо их недостаточно для проведения соответствующих расчетов. Поэтому наиболее достоверным видом источника информации для корректной оценки МПИ являются результаты испытаний СИ или их отдельных блоков.

Как правило, наиболее часто встречающиеся варианты оценки МПИ связаны с использованием показателей надежности СИ, нормируе-

мых или подтвержденных экспериментально (пп. А.5.1–А.5.2 приложения 5 РМГ 74 [5]). Информация об оценке надежности требуется в соответствии с постановлением Госстандарта от 20.04.2021 № 38 [3] и предоставляется заявителем на испытания в целях утверждения типа. Изготовитель СИ, согласно ГОСТ 27.003–2016 [8], может использовать следующие методы определения надежности: расчетный, экспериментальный и расчетно-экспериментальный.

Расчетный метод, как правило, является самым приближенным из указанных. В таких расчетах нормируемые показатели надежности, например наработка на отказ, могут быть указаны чисто гипотетически, без предоставления каких-либо обосновывающих материалов. Изготовители также могут приравнивать вероятность безотказной работы СИ $P(t)$ за время (наработку) t к вероятности работы СИ без метрологических отказов $P_m(t)$ (допуская, что средняя доля q метрологических отказов в общем потоке отказов СИ (как в п. А.5.1.1 РМГ 74) неизвестна), и среднюю наработку до первого отказа T_{cp} к средней наработке до первого метрологического отказа T_{cpm} (допуская, соответственно, что средняя доля q_m метрологических отказов в общем потоке отказов СИ (как в п. А.5.2.1 РМГ 74) неизвестна). Из-за таких допущений расчет не отражает действительную надежность в реальных условиях эксплуатации, так как совершенно очевидно, что не каждый отказ является метрологическим отказом в общем потоке отказов СИ.

Из практики работы можно отметить, что надежность сложных технических систем принято описывать экспоненциальным законом распределения надежности. При этом следует понимать, что рассматривая функцию надежности объекта, описываемую экспоненциальным (или логарифмическим) распределением, мы допускаем его непрерывную работу и работу на пределе рабочих характеристик, не предполагающую длительных остановок или юстировок. Такое допущение занижает расчетную надежность в несколько раз. Например, используя $T_{cp} = 220\ 000$ ч, согласно [9] можно найти точку времени 95 % вероятности безотказной работы (методом подстановки t):

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_{cp}}} = 2,71828^{-\frac{11\ 000}{220\ 000}} = 0,95.$$

В данном примере при общем времени безотказной работы только в точке 11 000 ч гарантирована практически безотказная работа. Показатель «гамма-процентной наработки на отказ» – наработка до отказа, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью γ , % (ГОСТ 27.002–2015 [7]), дает близкое число:

$$T_{\gamma} = -220\ 000 \cdot \ln(95 / 100) = -11\ 284 \text{ ч.}$$

В расчетах МПИ для СИ, применяемых в СЗМ, мы ориентируемся на 90–95 % безотказную работу, поскольку любой отказ в общем количестве отказов может быть метрологическим т. е. произойдет потеря метрологических характеристик. Здесь также следует отметить, что не для всех средств измерений следует придерживаться критерия 95 % «метрологической» безотказности. Например, если для счетчика электрической энергии этот критерий работает, то для датчика давления, который участвует в косвенном расчете расхода, «метрологическая» безотказность имеет второстепенную значимость (по влиянию на точность результата измерений) и приемлема на уровне от 60 %, однако данное допущение нельзя брать за аксиому.

За наработку на отказ для СЗМ также можно использовать принятый изготовителем браковочный уровень T_{β} , т. е. момент времени, при котором фиксируется отказ изделия (одноступенчатый план испытаний на надежность). Анализируя документацию, прошедшую экспертизу в БелГИМ, можно отметить, что T_{β} несущественно превышает значения вышеприведенных расчетов гамма-процентной наработки на отказ.

Соответственно, в расчетах МПИ по РМГ 74 для СЗМ в большинстве случаев используются заниженные значения наработки на отказ, что дает заниженную оценку МПИ. В каждом отдельном случае увеличение МПИ с учетом реальной «загрузки» средства измерений может быть изменено. Например, если бытовые счетчики интенсивно работают утром и вечером (в среднем 15 из 24 ч), то износ и иные эффекты, влияющие на общую надежность, будут ниже, что позволяет применить коэффициент 1,6. Разумеется, такой подход должен быть либо согласован с государственным органом, курирующим соответствующую область учета ресурсов, либо указан в ТНПА.

В поддержку данного допущения можно привести пример со счетчиками газа, для которых нормируются два предела погрешности: при первичной поверке и в эксплуатации (СТБ 1159). Периодическая поверка выполняется с учетом предела погрешности в эксплуатации. При этом так называемая защитная полоса в количественном выражении составляет на минимальном расходе 2, на максимальном – 1,7. Стандарт не приводит значение рекомендуемого МПИ, которому соответствует такой запас точности, который, очевидно, должен обеспечить точность измерений в течение первого МПИ. Как правило, провести испытания на надежность средств измерений с длинным МПИ (более 8 лет) проблематично, поскольку согласно планам испытаний, предписанным ГОСТ 27.410-87 [6], приемлемое время испытаний продукции, например в течение времени наработки на отказ,

соответствующей двум годам, при риске потребителя/поставщика, равном 0,1, и количестве отказов 3, требует выборки продукции не менее 100 шт. (теоретически браковочный уровень будет близок к желаемому МПИ). Понятно, что даже при возможности поверки на поверочной установке 5 счетчиков одновременно процесс будет ресурсоемким, особенно если обеспечить работу испытываемого объекта в режиме максимальной нагрузки.

Следует отметить, что если СИ после первого МПИ не подвергается чистке и юстировке, то нормальной практикой является установление защитной полосы относительно предела погрешности в эксплуатации самой поверочной лабораторией, исходя из того, что в течение второго 8–10-летнего МПИ погрешность в эксплуатации с большей вероятностью может выйти за установленный предел. К сожалению, такой практики нет и исследования не проводились.

Надежность оценки МПИ также снижает используемое в расчетах РМГ 74 значение СКО распределения погрешности градуировки СИ при выпуске из производства σ_0 . Есть несколько способов получения оценки СКО – σ_0 : теоретический (исходя из применяемого эталона и условий калибровки/градуировки) и экспериментальный. При неизвестном σ_0 РМГ 74 рекомендует принимать его как $\sigma_0 = 1/3 \Delta$, где Δ – предел допускаемой погрешности СИ; Δ_3 – предел допускаемой погрешности СИ в реальных условиях его эксплуатации и применяемой доверительной вероятности (табл. 1 РМГ 74) и соответствующих им квантилей (коэффициентов) нормального распределения. Как правило, $\Delta_3 < \Delta$, иначе теряется смысл нормирования Δ . Однако вариант, при котором $\Delta_3 = \Delta$, рекомендуется рассматривать как наихудший.

В любом случае указанных расчетов согласно пп. А.2–А.5 РМГ 74 достаточно для установления действительного МПИ при проведении испытаний СИ в целях утверждения типа.

Из практики оценки теоретического МПИ по РМГ 74 особый интерес вызывает время наработки на отказ как по п. А.5.1 приложения 5, так и по п. А.5.2. В п. А.5.1 используется показатель вероятности безотказной работы за время t . Время t определяется с большим допущением, предполагающим наличие сведений об интенсивности работы средства измерений в месяц, день и т. п. в эксплуатации и об общей наработке. Например, зная, что счетчик газа в среднем учитывает 4 000 м³/год при максимальном расходе 10 м³/ч, интенсивность составит 400 ч. Принимая время испытаний значительно ниже того, что требуется планом испытаний ГОСТ 27.410-87 [6], например 2 500 ч для каждого счетчика, и количество об-

разцов равным 6 (суммарное время наработки 15 000 ч \approx 2 года против 70 080 ч, что соответствует МПИ 8 лет), получаем расчетное $t = 2\,500 / 400 = 6,25$ года, или 54 750 ч. При этом в ходе испытаний мы получаем оценки точности, действительные для наработки, почти в 4 раза меньше требуемых. В такой ситуации, как правило, мы не получаем никаких отказов и не можем оценить вероятность безотказной работы за период 6,25 года.

Фактически, принимая гипотетическое t для 15 000 ч, мы экстраполируем наши оценки точности на 54 750 ч при неизвестной вероятности безотказной работы. Единственным подтверждением правильности t может являться либо официальное подтверждение (ЖКХ, поставщик ресурсов и т. п.) принятого значения объема, потребляемого за год (или, например, интенсивности использования штангенциркуля на производственных участках), либо сведения о результатах поверки за принятое значение МПИ, взятые из надежных источников, например государственных информационных фондов по метрологии: ФГИС «Аршин» (РФ), Государственный информационный фонд по обеспечению единства измерений (Беларусь) и др. В этом случае должно выполняться условие приемлемости принятого МПИ, т. е. отношение несоответствующих СИ к СИ, прошедшим поверку, должно быть не более 0,05 для СЗМ. Вторым вариантом применим для СИ с коротким МПИ или давно изготавливаемых СИ без изменений утвержденного типа. Размер такой выборки должен быть не менее 30 шт.

В п. А.5.2 приложения 5 РМГ 74 определяющей величиной для оценки МПИ является средняя наработка на отказ или метрологический отказ, которая в большинстве случаев принимается равной значению, нормируемому в ТУ. Данное значение должно быть подтверждено испытаниями на надежность или теоретическим расчетом, базирующимся на надежности отдельных сборочных единиц изделия. К сожалению, во втором случае данные о надежности сборочных единиц либо отсутствуют, либо являются очень приближенными [9]. На данный момент усредненные значения надежности электронных компонентов еще можно найти в старых справочниках, но их использование в расчете общей надежности изделия порой дает сомнительный результат.

После выпуска в обращение первой партии СИ утвержденного типа в соответствии с РМГ 74 изготовитель должен организовать подконтрольную эксплуатацию этой партии для сбора информации о метрологической надежности СИ и в установленные сроки предоставить материалы, относящиеся к корректировке МПИ (протоколы поверок), в организацию, проводившую испытания СИ

в целях утверждения типа. Последняя после экспертизы представленных материалов может вынести вопрос о подтверждении или установлении нового значения МПИ (как больше, так и меньше первичного). Основанием для установления новых значений МПИ являются результаты предыдущих поверок СИ этой группы.

Следует отметить, что расчеты должны включать результаты поверок, выполненных без предварительного ремонта и регулировки (юстировки) поверяемых СИ. Если не выполняется последнее условие, то несмотря на положительные результаты поверки мы фактически контролируем качество ремонта и регулировки, а не метрологическую надежность средства измерений. Проведенная при таких условиях поверка и последующая статистическая обработка позволят судить о дрейфе метрологических характеристик в зависимости от времени работы счетчиков и о действительном времени появления метрологического отказа в отношении группы счетчиков одного типа, что уже может являться основанием для корректировки МПИ.

При оценке МПИ по результатам эксплуатации следует учитывать способ поверки, так как информация, которую можно получить из протоколов, различна для разных способов.

РМГ 74 устанавливает три способа поверки:

1. Установление действительных значений величин (градуировка) всех СИ, поступивших в поверку.

2. Определение пригодности СИ к применению по нормам стабильности (с отбраковкой тех СИ, изменение действительного значения или градуировочной характеристики которых за МПИ превысило предел допускаемой нестабильности, установленный для СИ данного типа) и градуировка СИ, признанных годными.

3. Определение пригодности СИ к применению с отбраковкой тех СИ, характеристика погрешности которых превышает по абсолютному значению предел ее допускаемых значений, установленный для СИ данного типа.

В зависимости от способа поверки РМГ 74 устанавливает соответствующие критерии, служащие для корректировки межповерочных (межкалибровочных) интервалов. Из вышеприведенного очевидно, что дрейф метрологических характеристик косвенно проверяется при втором способе поверки, поскольку пригодность СИ к применению определяется прежде всего сравнением нестабильности СИ, полученной в результате поверки, с нормируемыми значениями. В большинстве случаев используется третий способ поверки, при котором осуществляется контроль по альтернативному признаку (годен или не годен) без приведения количественных оценок, что сни-

жает достоверность оценок, служащих для корректировки МПИ (пп. Б.2, Б.3 РМГ 74). Из этого следует вывод, что для корректной оценки и корректировки МПИ нужно использовать количественные оценки, зафиксированные в протоколах поверок (метод согласно п. Б.1 РМГ 74). Основа этого метода заключается в том, чтобы посредством последовательных приближений рассчитать вероятность метрологической достоверности конкретной метрологической характеристики в каждой проверяемой точке диапазона в конкретный момент времени. В итоге в качестве МПИ для СИ принимают минимальный из полученных МПИ.

Дополнительно можно отметить, что РМГ 74 предлагает использовать в том числе подход к назначению МПИ через минимизацию совокупных затрат на поверку и вынужденный простой СИ и издержек от недостоверных результатов измерений (экономические потери при эксплуатации метрологически отказавшего СИ). Обычно исходных данных для получения достоверного МПИ и однозначного и корректного решения задачи недостаточно. Это говорит о том, что данный метод практически не встречается на практике. Тем не менее БелГИМ рассматривает такие расчеты как обязательные для назначения МПИ в СЗМ для СИ учета энергоресурсов. Это обусловлено большим количеством эксплуатируемых в данной сфере СИ, где финансовые издержки на снятие и подмену подошедших к сроку поверки СИ могут быть сопоставимы с их заменой на новые. Например, поверка водосчетчиков предполагает проведение их предварительного техобслуживания и ремонта, стоимость которых может достигать до половины стоимости нового прибора.

В заключение еще раз подчеркнем, что расчет МПИ по РМГ 74 делается в отношении СИ утвержденного типа независимо от сферы их применения и является гарантией изготовителя по сохранению рабочих характеристик при соблюдении условий эксплуатации. Данный МПИ можно использовать в сфере государственного регулирования при наличии результатов исследований рисков в эксплуатации, т. е. МПИ дол-

жен являться комплексной оценкой. При этом следует учитывать, что минимизировать риски в эксплуатации можно за счет частоты проведения поверки или калибровки.

Список использованной литературы

1. Закон Республики Беларусь от 11.11.2019 № 254-З «Об изменении Закона Республики Беларусь «Об обеспечении единства измерений».
2. Постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 20.04.2021 № 39 «О перечне категорий средств измерений».
3. Постановление Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 20.04.2021 № 38 «Об осуществлении метрологической оценки для утверждения типа средств измерений и стандартных образцов».
4. Решение Научно-технической комиссии по метрологии (НТК) Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от 03.10.2017 № 09-2017.
5. РМГ 74-2004 ГСИ. Методы определения межповерочных и межкалибровочных интервалов средств измерений.
6. ГОСТ 27.410-87 Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность.
7. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике. Термины и определения.
8. ГОСТ 27.003-2016 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
9. Боровиков, С. М. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств / С. М. Боровиков, И. Н. Цырельчук, Ф. Д. Троян. – Минск: БГУИР, 2010.

Максим Валентинович ШАБАНОВ,

начальник сектора научно-исследовательского отдела законодательной и теоретической метрологии, НТП БелГИМ;

Александр Игоревич РАЗУМНЫЙ,

магистр технических наук