

УДК 614.84

Принцип практической целесообразности при нормировании индивидуального риска

Н.А. Махутов, главный научный сотрудник, руководитель рабочей группы при Президиуме РАН по проблемам безопасности, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук

Д.О. Резников, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

В.П. Петров, ведущий научный сотрудник, канд. техн. наук

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

e-mail: mibsts@mail.ru, ImashReznikoff@yandex.ru

Ключевые слова:
приемлемый риск,
допустимый риск,
принцип практической целесообразности.

В статье рассмотрено действие принципа практической целесообразности при принятии решений о необходимости реализации защитных мероприятий, направленных на снижение индивидуального риска, связанного с эксплуатацией сложных технических систем.

1. Понятие индивидуального риска

Среди широкого разнообразия индексов риска, которые с разных точек зрения описывают негативные последствия эксплуатации рассматриваемой технической системы для различных социальных групп, особое место занимает индекс индивидуального риска, который описывает уровень угрозы, связанной с эксплуатацией данной системы для одного, заранее выбранного человека, и позволяет оценить состояния дел в области обеспечения его индивидуальных прав. Этот индекс является естественным дополнением индексов социального риска, поскольку не нацелен на оценку масштабов социальных последствий, а описывает воздействие системы на индивидуума.

При оценке индивидуального риска учитывается возможность гибели человека при всех возможных сценариях отказа системы, причем различаются только два состояния человека: «жив» (последствия равны 0), «мертв» (последствия равны 1). В этой постановке величина последствий не будет входить в выражение для данного индекса риска. Таким образом, индекс индивидуального риска есть вероятность гибели в течение года в результате аварии в рассматриваемой системе одного выбранного заранее человека (например, оператора, представителя персонала или лица, проживающего на сопредельной территории) [1].

Принято разделять *средний* индивидуальный риск для персонала, обслуживающего систему (или населения прилегающих территорий), и *максималь-*

ный индивидуальный риск для человека (оператора), который в наибольшей степени подвержен действию опасных факторов системы.

Если при оценке риска рассматриваются два возможных состояния системы (система исправна или система находится в состоянии отказа), то расчетное значение индекса индивидуального риска определяется выражением:

$$R_I = P(O) \times P(G|O), \quad (1)$$

где $P(O)$ — вероятность отказа системы в течение года; $P(G|O)$ — уязвимость человека, оцениваемая как условная вероятность гибели данного человека (оператора) в случае отказа системы.

Если учитывается множественность сценариев отказа, то индекс индивидуального риска можно оценить с помощью векторного выражения:

$$R_I = \{\bar{O}\} \times \{\bar{V}_I\}^T, \quad (2)$$

где $\{\bar{O}\}$ — вектор угроз, компонентами которого являются вероятности различных сценариев отказов:

$$\{\bar{O}\} = \{P(S^{(0)}); P(S^{(1)}); P(S^{(2)}); \dots; P(S^{(m)})\} = \{f^{(0)}; f^{(1)}; f^{(2)}; \dots; f^{(m)}\} \quad (3)$$

$\{\bar{V}_I\} = \{P(G|S^{(0)}); P(G|S^{(1)}); P(G|S^{(2)}); \dots; P(G|S^{(m)})\}$ — вектор уязвимости индивидуума, компонентами

которого являются значения условной вероятности гибели, в случае реализации соответствующих сценариев аварии.

2. Уровни индивидуального риска

Индивидуальный риск, связанный с функционированием рассматриваемой системы, имеет три уровня: пренебрежимо малый, приемлемый и недопустимый (или чрезмерный) (рис.1).

1) Пренебрежимо малый индивидуальный риск — это риск, сопоставимый с другими рисками, с которыми люди сталкиваются в повседневной жизни и которые считаются несущественными (например, риск, связанный с падением метеорита на жилой дом). Предельная величина (верхняя граница) пренебрежимо малого риска определяется нормативной базой страны, исходя из уровня ее экономического развития, культуры безопасности и отношения к человеческой жизни. В экономически развитых странах в качестве верхней границы пренебрежимо малого индивидуального риска установлена вероятность гибели человека $\langle R_i \rangle = 10^{-6}$ в год (1 на 1 млн), т.е. $R_{i\text{ пренебр.}} < 10^{-6}$ [2, 5]. Если значение индивидуального риска, связанного с эксплуатацией системы, попадает в область пренебрежимо малых, то законодатель не требует принятия каких-либо дополнительных мер, направленных на дальнейшее снижение рисков. Эксплуатация системы с таким низким уровнем риска может быть продолжена без каких-либо дополнительных усилий, направленных на снижение обусловленного ею риска. Соответственно считается, что органы технического надзора могут не контроли-

ровать эксплуатацию технической системы с таким уровнем риска.

2) Приемлемые индивидуальные риски — риски, с которыми, учитывая выгоды от эксплуатации системы, люди (или общество в целом) готовы мириться при условии, что эти риски тщательно отслеживаются и минимизируются в соответствии с соображениями практической целесообразности. Согласно нормам [4–7], приемлемые риски лежат в диапазоне $\langle R_i \rangle = 10^{-6} \leq R_{i\text{ приемл.}} \leq [R_i] = 10^{-4}$.

3) Недопустимые (чрезмерные) риски — риски, с которыми, за исключением чрезвычайных ситуаций, люди не готовы мириться ни при каких выгодах от эксплуатации системы. В случае попадания индивидуальных рисков в недопустимую область эксплуатация системы считается невозможной до реализации защитных мероприятий, позволяющих перевести значения риска в область приемлемых. Причем уменьшение риска ниже уровня $[R_i]$ должно осуществляться, независимо от стоимости защитных мероприятий.

Установление конкретного численного значения предельно допустимого индивидуального риска $[R_i]$ очень важно, это социально значимый вопрос. Очевидно, что его решение входит в компетенцию политического руководства страны и основывается на стремлении установить конкретное численное значение для величины $[R_i]$ на таком низком уровне, какой технически достижим. Однако при этом необходимо учитывать, что такое стремление связано с очень большими экономическими затратами на снижение риска, которые в итоге, как правило,

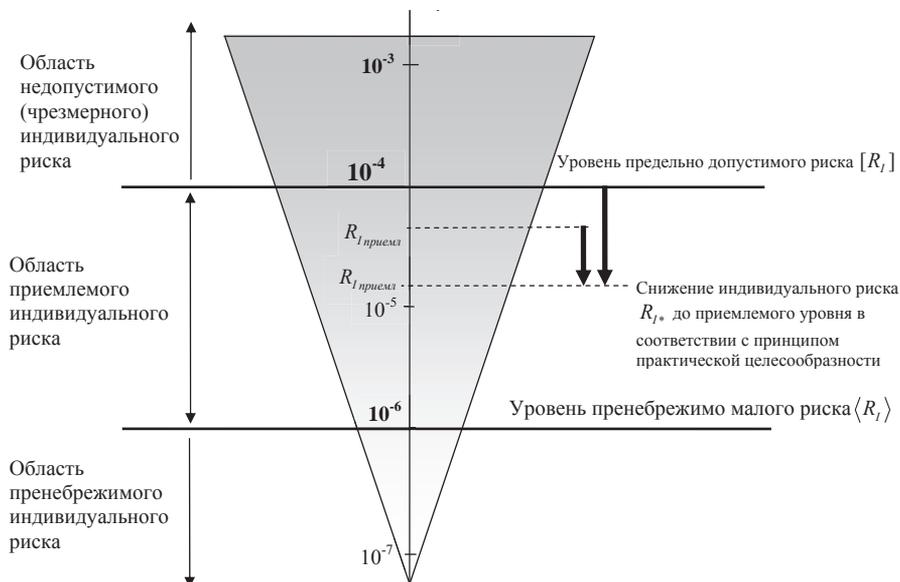


Рис. 1. Уровни индивидуального риска

ведут к нерентабельности самой хозяйственной деятельности. В силу этого при установлении конкретного численного значения для предельно допустимого индивидуального риска, отдавая приоритет социальным аспектам проблемы, необходимо учитывать и уровень экономического развития страны. Принимаемое конкретное значение $[R_I]$ должно соответствовать социальным требованиям, но не может становиться запретительным барьером (накладывать чрезмерные ограничения) для осуществления хозяйственной деятельности, обеспечения эффективности и дальнейшего развития экономики страны. Более высокий уровень экономического и технологического развития позволяет установить более низкие значения для предельно допустимого индивидуального риска.

В [8] предложена формула для оценки предельно допустимого индивидуального риска:

$$[R_I] = \beta \cdot 10^{-4}, \quad (4)$$

где коэффициент β зависит от степени добровольности, с которой человек занимается данной деятельностью и степенью его заинтересованности в результатах этой деятельности. Коэффициент β изменяется в широких пределах:

- если человек не принимает добровольно решение о том, чтобы подвергнуться риску, и не получает при этом никаких благ: $\beta = 0,01 - 0,1$;
- если человек осознанно занимается опасной деятельностью, рассчитывая получить значительные блага: $\beta = 10 - 100$.

В Великобритании в качестве предельно допустимого индивидуального риска установлена вероятность гибели человека $[R_I] = 10^{-4}$ в год (1 на 10 тыс.), т.е. $R_{I_{недоп.}} > 10^{-4}$ [9–12].

3. Деятельность в соответствии с принципом практической целесообразности

Если значение риска эксплуатации системы попадает в область приемлемых, то регламентация деятельности требует более подробного рассмотрения. Регулирование должно осуществляться с учетом двух конкурирующих между собой групп требований, связанных с обеспечением безопасности и экономической эффективности. Очевидно, что, учитывая ограниченность ресурсов и несовершенство существующих технологий, бесконечно снижать величину индивидуального риска практически невозможно, оно привело бы к нерентабельности хозяйственной деятельности. Поэтому согласно принятым нормам деятельность, которая осуществляется в области приемлемых рисков, должна соответствовать некоторому компромиссному принципу, пред-

усматривающему реализацию мер, направленных на снижение рисков до уровня практической целесообразности, который также называют уровнем приемлемого риска $R_{I_{приемл.}}$. В англоязычной литературе этот принцип получил название принципа ALARP (англ. *as low as reasonably practicable*).

Если значения рисков, связанных с эксплуатацией технической системы, попадают в область приемлемых, то организация, эксплуатирующая эту систему, должна принять для снижения риска меры, целесообразные с практической точки зрения. Здесь под «целесообразными» подразумевается меры, реализация которых не требует неоправданно высоких затрат или необоснованно больших усилий. В этом и состоит принцип минимизации рисков с учетом практической целесообразности, который подразумевает максимально возможное снижение рисков, достигаемое за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов.

Таким образом, если значение индивидуального риска, связанного с эксплуатацией технической системы, попадает в область приемлемых, то для получения разрешения на дальнейшую эксплуатацию системы необходимо выполнить ряд требований [5]:

- источники и величина риска, а также различные варианты реализации защитных мер должны быть внимательно оценены;
- риски должны быть снижены до уровня практической целесообразности за счет реально имеющихся (ограниченных) ресурсов в соответствии с принципом практической целесообразности;
- по мере совершенствования существующих и появления новых защитных технологий практически целесообразный уровень приемлемого риска должен пересматриваться в сторону соответствия более жестким нормам безопасности.

Величина приемлемого индивидуального риска $R_{I_{приемл.}}$ для рассматриваемой системы не жестко заданная, не фиксированная, она должна снижаться по мере появления новых возможностей и средств обеспечения безопасности. Отсюда следует, что удовлетворение принципу практической целесообразности не однократное мероприятие, а длительный процесс, который осуществляется в течение всего срока эксплуатации технической системы.

Искомый уровень практической целесообразности $R_{I_{приемл.}}$ определяется с учетом соотношения между расчетной величиной «стоимость защитных мероприятий, приходящаяся на спасение одной жизни» C_{SLS} (англ. *adjusted cost per statistical life saved*) и принятой в данной стране (или отрасли) нормативной величиной «стоимость человеческой жизни» (или затрат, которые государство готово нести на

спасение жизни одного работника) L_C (англ. *life cost value*). В процессе реализации программы защитных мероприятий по мере снижения риска стоимость принимаемых решений растет. При этом величина C_{SLS} неуклонно возрастает и в определенный момент становится чрезмерно высокой (или непропорциональной) по сравнению с величиной L_C .

При выработке критерия соответствия принципу практической целесообразности в качестве определяющего параметра вводят коэффициент диспропорциональности ($k_{dp} > 1$) между приведенной стоимостью усилий на спасение одного работника C_{SLS} и стоимостью человеческой жизни L_C [5, 6]:

$$k_{dp} = \frac{C_{SLS}}{L_C}, \quad (5)$$

где $C_{SLS} = \frac{C_{pm} - B_e}{\Delta \bar{N}}$.

Здесь C_{pm} — стоимость реализации защитных мероприятий;

B_e — экономический эффект от реализации защитных мероприятий, выражающийся в снижении экономического ущерба, ожидаемого при аварии, в результате проведения защитных мероприятий:

$$B_e = \sum_{j=1}^{m_-} f_-^{(j)} \cdot U_-^{(j)} - \sum_{j=1}^{m_+} f_+^{(j)} \cdot U_+^{(j)},$$

где m_- и m_+ — количество сценариев отказов до и после реализации защитных мероприятий, $f_-^{(j)}$ и $f_+^{(j)}$ — вероятность реализации сценариев $S^{(j)}$ до и после реализации защитных мероприятий, $U_-^{(j)}$ и $U_+^{(j)}$ — экономический ущерб, ожидаемый при сценариях $S^{(j)}$ до и после защитных мероприятий;

$\Delta \bar{N}$ — ожидаемое снижение количества жертв аварии после реализации защитных мероприятий:

$$\Delta \bar{N} = \bar{N}_- - \bar{N}_+ = \sum_{j=0}^{m_-} f_-^{(j)} \cdot N_-^{(j)} - \sum_{j=0}^{m_+} f_+^{(j)} \cdot N_+^{(j)},$$

где $N_-^{(j)}$ и $N_+^{(j)}$ — количество жертв при реализации сценариев $S^{(j)}$ до и после реализации защитных мероприятий, соответственно.

Ключевой величиной в данной оценке является принимаемая директивно «стоимость человеческой жизни» L_C , которая может существенно зависеть от социально-экономической специфики различных стран, а иногда отдельных отраслей экономики. В Великобритании величина L_C составляет 2 млн ф. ст., в США в зависимости от вида деятельности изменяется от 2 до 6,3 млн долл. США, в Австралии — 2,5 млн австрал. долл. В Российской Федерации эта величина существенно ниже: 0,3–2 млн руб.

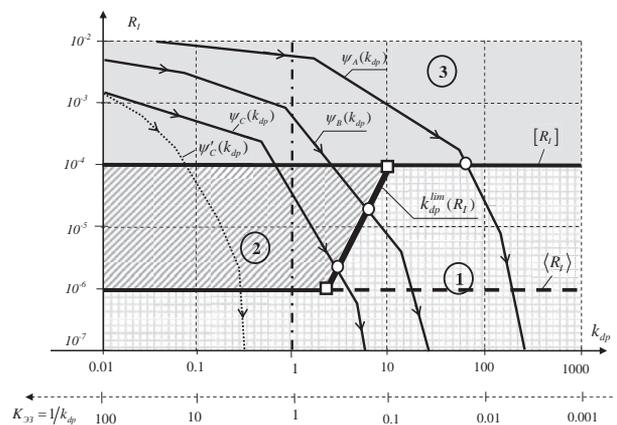


Рис. 2. Траектории снижения индивидуального риска на плоскости (R_i ; 0 ; k_{dp}):

1 — область, в которой эксплуатация системы разрешена и не требует реализации дополнительных защитных мер; 2 — область, в которой эксплуатация системы разрешена при условии ее соответствия принципу практической целесообразности; 3 — область, в которой эксплуатация системы запрещена

Очевидно, что по мере последовательной реализации защитных мер дальнейшее снижение индивидуального риска будет требовать все более значительных затрат. Это означает, что эффективность средств, расходуемых на реализацию новых защитных мероприятий, будет снижаться, а коэффициент диспропорциональности k_{dp} напротив, будет возрастать. При этом зависимость $R_i = \psi(k_{dp})$ будет определять траекторию снижения риска рассматриваемой системы, достигаемого в результате последовательной реализации программы защитных мероприятий (рис. 2). Также очевидно, что двум различным программам защитных мероприятий для рассматриваемой системы будут соответствовать различные траектории снижения риска (на рис. 2 линии $\psi_c(k_{dp})$ и $\psi'_c(k_{dp})$), причем более эффективная программа будет иметь более крутую траекторию.

В соответствии с принципом практической целесообразности законодатель требует продолжать реализацию программы защитных мер до тех пор, пока коэффициент диспропорциональности не превысит определенную предельную величину k_{dp}^{lim} . При этом предельный коэффициент диспропорциональности не константа, а линейная функция индивидуального риска $k_{dp}^{lim}(R_i) = a \cdot R_i + b$, которая определена на области приемлемого индивидуального риска $\langle R_i \rangle \leq R_i \leq [R_i]$ (рис. 2). При этом для $R_i = [R_i] = 10^{-4}$ коэффициент диспропорциональности принимается равным 10, а для $R_i = \langle R_i \rangle = 10^{-6}$ он снижается до 3. Тогда константы a и b можно определить из условий:

$$k_{dp}^{lim} \Big|_{R_i=10^{-4}} = 10$$

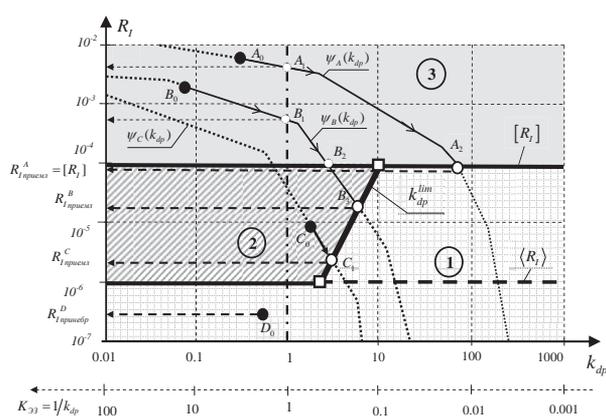


Рис. 3. Пример использования коэффициента диспропорциональности при реализации процедуры снижения индивидуального риска до приемлемого уровня

$$k_{dp}^{lim} \Big|_{R_I=10^{-6}} = 3.$$

В соответствии с принципом практической целесообразности снижать риски, попадающие в область приемлемых, нужно до тех пор, пока не будет выполнено условие:

$$k_{dp} < k_{dp}^{lim}. \quad (6)$$

Линии $[R_I]$, $\langle R_I \rangle$ и k_{dp}^{lim} (см. рис. 2) делят плоскость $(R_I; 0; k_{dp})$ на три области. В области 1 эксплуатация системы разрешена без выполнения каких-либо дополнительных требований о снижении риска. В области 2 эксплуатация разрешается при условии выполнения требований принципа практической целесообразности. В области 3 эксплуатация системы запрещена до того момента, пока риски не будут снижены до уровня $R_{I_{приемл.}}$.

Линии Ψ_A , Ψ_B и Ψ_C представляют собой траектории снижения индивидуального риска при реали-

зации защитных мероприятий для трех технических систем А, В и С. Как уже отмечалось, по мере снижения риска эффективность затрат снижается ($K_{ЭЗ} \downarrow$), а коэффициент диспропорциональности, напротив, возрастает ($k_{dp} \uparrow$).

На рис. 3 проиллюстрирована предписанная процедура снижения рисков для систем, начальные состояния которых попадают в различные области плоскости $(R_I; 0; k_{dp})$.

Система А, находящаяся в начальном состоянии A_0 , попадает в область 3, в которой ее эксплуатация запрещена. Реализация защитных мероприятий позволяет осуществить переход по траектории Ψ_A в состояние A_2 , находящееся на границе предельно допустимого риска $[R_I]$. Поскольку в состоянии A_2 $k_{dp} > k_{dp}^{lim}$, то в соответствии с принципом практической целесообразности, дальнейшее снижение риска не обязательно. В этом случае приемлемый риск совпадает с предельно допустимым $R_{I_{приемл.}}^A = [R_I]$.

Система В, находящаяся в начальном состоянии B_0 , также попадает в область 3 (запрещена эксплуатация). Реализация защитных мероприятий позволяет осуществить переход по траектории Ψ_B в состояние B_2 на границе предельно допустимого риска $[R_I]$. Поскольку в состоянии B_2 $k_{dp} < k_{dp}^{lim}$ (система попадает в область 2), согласно принципу практической целесообразности, необходимо снижать риск до состояния B_3 в котором индивидуальный риск становится приемлемым (поскольку в этой точке $k_{dp} = k_{dp}^{lim}$).

Система С, находящаяся в начальном состоянии C_0 , попадает в область 2, в которой эксплуатация системы возможна, но предполагается реализация защитных мер, которые позволят достичь приемлемого риска в состоянии C_1 .

Система D, находящаяся в начальном состоянии D_0 , попадает в область 1 пренебрежимо малых рисков, в которой реализация дополнительных защитных мероприятий не является обязательной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Махутов Н.А., Ахметханов Р.С., Резников Д.О. и др. Безопасность России. Анализ риска и проблемы безопасности. Ч. 2. Безопасность гражданского и оборонного комплексов и управление риском. — М.: МГФ «Знание», 2006. — 434 с.
2. Bowles D.S. Tolerable risk guidelines for dams: Principles and applications. Risk analysis, Dam Safety, Dam Security and Critical Infrastructure Management — Escuder-Bueno et al. (eds.). Taylor & Francis Group. London. 2011.
3. Bowles D.S. ALARP evaluation: Using cost effectiveness and disproportionality to justify risk reduction. ANCOLD Bulletin 127:89106. 2004.
4. HSE (Health and Safety Executive). Assessing Compliance with the Law in Individual Cases and the Use of Good Practice. 2002. (<http://www.hse.gov.uk/dst/alarp2.htm>).
5. HSE (Health and Safety Executive). Policy and Guidance on Reducing Risks as Low as Reasonably in Design. 2002. (<http://www.hse.gov.uk/dst/alarp3.htm>).
6. HSE (Health and Safety Executive). Principles and Guidelines to Assist HSE in its Judgments that Duty Holders. Have Risk as Low as Reasonable Practicable. 2002. (<http://www.hse.gov.uk/dst/alarp1.htm>).
7. HSE. "Reducing Risks, Protecting People: HSE's Decision-making Process. Risk Assessment Policy Unit, Health and Safety Executive." HSE Books, Her Majesty's Stationery Office, London, UK, 2001.
8. Vrijling J.K., W. van Hengel, Houben R.J. Acceptable risk as a basis for design. Reliability Engineering and System Safety 59. 141—150. 1998.

Application of the ALARP Principle for Regulation of Individual Risk

N.A. Makhutov, Chief Research Associate, Head of the working group at RAS (Russian Academy of Sciences) Presidium on safety problems, RAS Member Correspondent, Doctor of Engineering, Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences

D.O. Reznikov, Leading Research Associate, Ph.D. of Engineering, Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences

V.P. Petrov, Leading Research Associate, Ph.D. of Engineering, Institute of Machines Science named after A.A. Blagonravov of Russian Academy of Sciences

The paper addresses problems of application of the ALARP principle for decision making and implementation of protection measures aimed at reduction of individual risk related to operation of complex technical systems.

Keywords: tolerable risk, acceptable risk, ALARP principle

Рейтинги вузов обсудили в Общественной палате

В Общественной палате 20 ноября 2012 г. состоялись слушания на тему «Обсуждение рейтингов вузов России: результаты и направления развития». На мероприятии были представлены *результаты рейтинга вузов*, составленного рейтинговым агентством «Эксперт РА» по инициативе и при поддержке фонда Олега Дерипаска «Вольное дело». Отличительной особенностью рейтинга является комплексная оценка деятельности вузов, исключая ранжирование по одному показателю, а также проведение масштабных опросов наряду с анализом статистической информации. Место вуза в рейтинге определялось, исходя из оценки трех составляющих: качество образования, востребованность работодателями, научно-исследовательская деятельность. В слушаниях приняли участие около 100 участников: представители Министерства образования и науки РФ, ведущих вузов России, комитетов Госдумы, Агентства стратегических инициатив.

Дмитрий Гришанков, генеральный директор рейтингового агентства «Эксперт РА», отметил: «Имея 15-летний опыт рейтинговой практики, мы при составлении рейтинга вузов искали ответ всего на один вопрос — о качестве подготовки выпускников в том или ином вузе. И при ответе на него мы опирались более чем на 40 критериев. В обсуждении нашей методике приняли участие ректоры 30 вузов».

Участники слушаний высоко оценили комплексный характер рейтинга, что выгодно отличает подготовленный рейтинг от международных ранжирований. По словам **Виктора Садовниченко**, ректора МГУ им. **М.В. Ломоносова**, мировые рейтинги исповедуют свою философию, являясь «заточенными» под англосаксонскую модель образования, и используют лишь небольшое количество критериев для оценки, что, по сути, похоже на пятипиксельную картинку. «Мы за то, чтобы рейтинг имел многофакторный характер. Чем больше критериев будет учитываться, тем точнее получится портрет. У европейской системы образования есть свои плюсы: качество образования, научные школы. Рейтинг должен это фиксировать, — считает Садовниченко. — Кроме того, рейтинг должен быть узнаваемым и признаваемым, чтобы у университетов появился стимул работать над собой».

С ним согласен и **Сергей Гончаров**, первый проректор Российского государственного педагогического

университета им. **А.И. Герцена**. По его мнению, рейтинги уже стали учитываться вузами в механизмах внутренней организации. «Модель показателей, заложенная в авторитетном рейтинге, — это инструмент развития образования в стране», — полагает С. Гончаров. **Игорь Булыженков**, проректор по международной деятельности Московского физико-технического института (государственного университета), подчеркнул, что при помощи рейтинга нужно повышать конкурентоспособность российской высшей школы.

В свою очередь, **Александр Соболев**, директор департамента государственной политики в сфере высшего образования Министерства образования и науки РФ, считает, что создание национального рейтинга вузов — это актуальная задача, которую должны совместно реализовывать независимые агентства. «Важно, чтобы на уровне профессионального сообщества была договоренность о единой методике, критериях оценки и распространении, — отметил А. Соболев. — Нужно вводить в анализ страны СНГ, ШОС, БРИКС, Европы».

По мнению **Ефима Пивовара**, ректора Российского государственного гуманитарного университета, важно, чтобы штаб-квартира международного рейтинга находилась в России и опиралась не на зарубежные рейтинговые агентства, а на экспертное сообщество из других стран.

Победители рейтинга — МГУ им. **М.В. Ломоносова**, МГТУ им. **Н.Э. Баумана**, Санкт-Петербургский государственный университет и Московский физико-технический институт — также вошли в первую пятерку лучших вузов по востребованности работодателями (МГУ — 1 место, МГТУ — 2, СПбГУ — 3, МФТИ — 4, МИФИ — 5).

В целом, расклад по этому критерию свидетельствует о том, что выпускники технических вузов более востребованы рынком труда, чем управленцы, экономисты и гуманитарии. Несмотря на то, что работодателям требуются «технари», популярность технических специальностей среди абитуриентов не высока, по популярности технические вузы пока уступают экономическим и управленческим.

С подробностями рейтинга можно ознакомиться на сайте <http://www.raexpert.ru/releases/2012/Nov22a/>.