

УДК: 165+37+62

DOI 10.54835/18102883_2024_35_15

ЗНАЧИМОСТЬ ТЕОРИЙ ОШИБОК ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОГО ДЕЛА И РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Лихолетов Валерий Владимирович,

доктор педагогических наук, кандидат технических наук,
профессор кафедры экономической безопасности,
likholetov@yandex.ru

Южно-Уральский государственный университет (НИУ),
Россия, 454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

Аннотация. Предпринята попытка анализа концептуальных наработок по теориям ошибок для выявления природы ошибок, а также их предотвращения при создании, эксплуатации и утилизации объектов «второй» природы. Проблема актуальна из-за нарастания рисков комплексного (не только техногенного) характера, что обуславливает высокую значимость социальной ответственности представителей инженерной сферы за последствия профессиональной деятельности. **Цель:** обзор наработок по теориям ошибок с позиций их значимости для сферы инженерии и развития отечественного инженерного образования. **Новизна.** Системно-междисциплинарный и исторический анализ многих источников позволил лучше понять особую роль ошибок в жизни человека, выявить основные причины их появления на разных фазах жизненного цикла технических систем. Вскрыта сложная (биосоциальная, когнитивная и организационно-управленческая) природа человеческих ошибок, подчеркнута исключительная важность их предотвращения на ранних стадиях создания объектов техники, особенно при проектировании. Сделан вывод о необходимости освоения основ теорий ошибок при подготовке будущих инженеров. **Методология и методы:** системно-диалектический, междисциплинарный, исторический, задачный и деятельностный подходы. Роль ошибок и значимость теорий о них для инженерной практики и инженерного образования рассматривалась в свете полного жизненного цикла систем. Опирались на инструментарий теории решения изобретательских задач и теории эффективных решений: идеальный конечный результат, формулирования и разрешения противоречий, ресурсный анализ, анализ на соответствие проектируемых объектов закономерностям развития технических систем, методики «обращения задач» и «диверсионного анализа». **Результаты.** Обзор наработок свидетельствует о выраженной социально-когнитивной природе ошибок и важности их предотвращения на всех уровнях, особенно высших, управления деятельности организаций (предприятий). Опыт эксплуатации инструментария и методик теории решения изобретательских задач, способствующих минимизации ошибок при реализации проектов в России и за рубежом, позволяет говорить о ней как о важной компоненте будущей праксеологии как теории эффективной деятельности в части управления мышлением.

Ключевые слова: деятельность, инженерия, инженерное образование, мыследеятельность, праксеология, ошибка, социальная ответственность будущих инженеров, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), теории ошибок

Введение

Масштаб антропогенного воздействия на окружающую среду актуализировал проблему особой ответственности инженерного сообщества по этому поводу. Темы экологической повестки, формирования экосистемного мышления сегодня лежат на перекрестке противоречивых интересов. Исследователи активно обсуждают разные аспекты этой проблемы, в т. ч. этические, при этом обсуждаются пути её решения в вузах при подготовке будущих инженеров. Анализ ФГОС показал: развитие социально-профессиональной ответственности студентов сегодня не зафиксировано в них как необходимый результат подготовки. С недавнего времени ориентиром регламентации компетенций выпускников университетов слу-

жат профессиональные стандарты (ПС), в них уровень возлагаемой на работника ответственности, согласованной с полномочиями, является определяющей характеристикой квалификации. Таким образом, имеется нестыковка ФГОС и ПС по одной из значимых инженерных компетенций [1, 2].

Сушностью инженерного дела является создание объектов «второй» природы. Их несовершенство (здесь мы уже входим в тезаурус теорий ошибок) напрямую связано с неполнотой человеческих знаний об устройстве «первой» (естественной) природы. Эти научные знания высшего уровня, понятые людьми и отражающие существенные, устойчивые, необходимые, циклически повторяющиеся отношения и взаимосвязи на разных уровнях

устройства материального мира, а также между разнообразными системами, их разными свойствами, принято называть законами или принципами.

Исследования вечных проблем истины, заблуждений, ошибок чрезвычайно актуальны. Основателем эррологии – науки о логических ошибках, заблуждениях – и первооткрывателем атасферы – сферы глупости (в противоположность ноосфере В.И. Вернадского), считается отечественный философ Ф.А. Селиванов [3].

Ошибка – это социальный феномен [4], ведь трудно говорить об ошибках природы (в этих случаях чаще говорят о «сбоях» самой эволюции и т. п.). Есть, безусловно, любопытная точка зрения, по которой сам человек – либо ошибка природы, либо некая тайная цель эволюции (ведь ни одна особь в природе не убивает особей собственного вида, тогда как особь вида «человек» убивает особей своего вида тысячами и миллионами) [5]. По А. Кожову, «ошибка означает расхождение с реальностью, поскольку она ложна относительно того, что есть... Человека можно определить как того, кто способен удерживать ошибку в существовании и длить её в реальности... Только человек может ошибаться, при этом не исчезая... он может жить своим заблуждением... Судьба человека – продолжать существовать, постоянно ошибаясь в существующем» [6].

Ученые считают, что сегодня в динамичном мире человеку все трудней добиваться поставленных целей. Он часто даже избегает их ставить, ведь достижение может обернуться ненужной победой. Действующий обязательно ошибется (вспомним выражение: «Не ошибается тот, кто ничего не делает», остроумно дополненное А.Н. Толстым: «хотя это и есть его основная ошибка»). Не случайно в даосизме есть знаменитый принцип Лао Цзы – «у-вэй» («недеяния», точнее, по Линь Юйтану, «невмешательства» [7]). Антиподом «у-вэй» является «вэй» («деяние», «свершение», «осуществление» и т. п.).

В психофизиологии пройден огромный путь изучения деятельности. Маркерами исследований великих ученых на этом пути стали концепции: рефлексологии (И.М. Сеченов, И.П. Павлов, В.М. Бехтерев, Н.И. Введенский, А.А. Ухтомский и др.); педологии, труда и индивидуального стиля деятельности (М.Я. Басов, В.С. Мерлин и др.); реактоло-

гии (К.Н. Корнилов); деятельности и мышления (Л.С. Выготский, С.Л. Рубинштейн, А.Н. Леонтьев и др.); труда (И.М. Сеченов, А.К. Гастев, Н.А. Бернштейн, О.А. Ерманский, Е.И. Капустин, Е.А. Климов и др.). Сегодня принято рассматривать активность человека в измерениях игры, учения, труда и общения (коммуникаций). Во всех этих видах активности присутствуют ошибки. Философы трактуют их как теневую сторону деятельности человека, достигающего своих целей, и отмечают, что при переходе от Средневековья к Новому времени произошло оформление школы как важного социального института. Образовалось пространство, где обучающийся имеет право на ошибку и может ошибаться, оставаясь безнаказанным [4. С. 4]. Позже субъектом ошибки стал не только познающий человек, но и актер любого социального действия (экономического, политического, религиозного, художественного и т. п.).

Теория деятельности требует ответа, что такое ошибочное действие, ведь ошибка – факт практики [8]. Согласно А. Бергсону [9], человеческое действие свободно. Это понимание вводит в рассмотрение сознание и творчество в трудовом процессе. Понятие «ошибка» в таких делах приобретает особый смысл: оно фиксирует лишь несовпадение намеченного и достигнутого, но не проясняет сути.

Ошибка предполагает выбор и ответственность. Субъект, любой оператор, занятый профессиональным делом, должен предвидеть последствия и необходимость нести ответственность. Поэтому ошибка относится к области морали [10]. Сегодня, когда идет специальная военная операция России по защите мирных граждан ДНР и ЛНР от новых фашистов на Украине, осознается особая важность минимизации ошибок при взаимодействии с техникой, особенно военной [11]. Так как ошибка – случай из практики, концепция ошибки должна строиться на основе представлений о нормальном функционировании, которое определяется позитивно. Сама ошибка должна определяться только негативно (разумеется, если речь идет о «плохом» происшествии, а не о положительных последствиях ошибки). Тогда название «ошибка» будет неточным. В определении понятия ошибки имеет значение время: ошибочное действие уже совершено – оно в прошлом, т. е. с ошибкой всегда имеют дело как со свершившимся фактом.

Анализ проблемного поля исследования

Обращение к истории изучения природы ошибок свидетельствует, что ещё Парменид хотел найти границу между истиной и мнением, а Сократ и Платон обосновывали методы безошибочного познания. С именем Аристотеля связаны законы логики как науки о правильном мышлении. В Средние века категории ошибки и истины сопрягались с понятием греха. Ф. Бэконом создано учение об идолах (призраках), а у Декарта, Лейбница, Канта и Гегеля есть элементы анализа человека как вечно ошибающегося существа. Однако, если ранее философы рассматривали ошибку как итог деятельности отдельного индивида, сейчас анализ расширился до социально-исторического субъекта как результата социальной закономерности. Возникли два определения понятия. По первому («внутреннему»), ошибка – несоответствие результата цели, сбой в алгоритме деятельности, а по второму («внешнему») она – несоответствие результатов действия социальным нормам и шире – законам общественного развития [4. С. 9].

Известны слова великого Рабиндраната Тагора: «Перед ошибками захлопываем дверь, в смятении истина: «Как я войду теперь?»». Поучительно обращение к высказываниям и других великих людей по поводу ошибок и работе над ними (табл. 1).

Общее толкование ошибки как нарушения каких-либо законов, правил, схем, норм, логики (например, «Ошибка – неправильность в действиях, поступках, высказываниях, мыслях, погрешность») позволяет рассматривать

её как результат девиантной деятельности или поведения (от лат. *deviatio* отклонение, англ. *deviation*), т. е. понятия, более широко применяемого в социологических и психологических исследованиях. Есть логико-философские, психологические и лингвистические подходы к ошибке. Так, в философии и логике ошибка связана, прежде всего, с неправильным ходом мыслей [12, 13]. По Аристотелю, разграничившему два класса ошибок (ошибки «вне речи» – ошибки мышления, и «неправильности речи»), в логике есть группы ошибок в зависимости от их причины: 1) неформальные (ошибки, причина которых – неправильность словесного выражения мысли); 2) формальные (ошибки логические в собственном смысле).

Переходя «от слов к делу», иначе говоря, к обсуждению ошибок в человеческой деятельности, заметим, что сама история изучения ошибки тесно связана с этапами развития техники [14]. Действительно, развитие машинного производства, железных дорог сопровождалось ростом травматизма и это остро поставило вопрос о соответствии человека выполняемой работе [15]. Новые представления о возросшей цене ошибок оператора появились в связи с широким развитием железнодорожных перевозок. Не случайно труд И.И. Рихтера был посвящен комплексу проблемных вопросов: улучшению условий труда, повышению надежности персонала, организации отбора и обучения служащих [16]. П.К. Энгельмейер одним из первых исследователей обратил внимание на предупреждение

Таблица 1. Высказывания великих людей по поводу ошибок
Table 1. Statements of great people about mistakes

Сущность изречения/Essence of the saying	Автор/Author
Единственная настоящая ошибка – не исправлять своих былых ошибок The only real mistake is not correcting your past mistakes	Конфуций/Confucius
Ни в чем не ошибаться – это свойство богов/Making no mistakes is a property of the gods	Демосфен/Demosthenes
Ошибка – это привилегия философов. Лишь глупцы не ошибаются Error is the privilege of philosophers. Only fools make no mistakes	Сократ/Socrates
Причина ошибки – незнание лучшего The reason for the error is ignorance of the best	Демокрит/Democritus
Противник, вскрывающий ваши ошибки, гораздо полезнее, чем друг, скрывающий их An adversary who reveals your mistakes is much more useful than a friend who hides them	Леонардо да Винчи Leonardo da Vinci
О великом человеке судят по его главным деяниям, а не по ошибкам A great man is judged by his greatest deeds, not by his mistakes.	Вольтер/Voltaire
Умный человек не делает сам все ошибки – он дает шанс и другим A smart person doesn't make all the mistakes himself – he gives others a chance too	У. Черчилль W. Churchill
Эксперт – человек, совершивший все ошибки в некоем узком поле An expert is a person who has made all the mistakes in a certain narrow field	Нильс Бор/Niels Bohr

ние травматизма при проектировании машин и механизмов [17]. Было положено начало производственному и научному анализу статистики несчастных случаев, разработке рекомендаций по профилактике и предотвращению травм на дорогах, рудниках, шахтах [18].

Психологи девиантные проявления рассматривают в поведении и деятельности индивида (социальной группы). Дж. Ризон связывает понятие ошибки с любой ситуацией, где некая цепочка ментальных (физических) действий не достигает желанной цели, и эта неудача не может быть приписана случаю [19]. Обычно психология анализирует речевые ошибки в контексте общего развития личности. Они возникают на разных этапах реализации программы высказывания (как инструмент отражения механизма речепорождения, интерференции мыслей, скрытых за речью) и самого высказывания.

Девиация в речи не осталась без внимания лингвистов [20]. Для них речевые ошибки – объекты осмысления теоретико-прикладного анализа, что позволило разграничить их, как возникающие: 1) при овладении родным языком; 2) при изучении иностранного языка; 3) при осуществлении профессиональной деятельности (например, переводческой, педагогической, исследовательской) [21]. Общее и психолингвистическое понимание типов ошибок и их механизмов составляет сегодня основу эрратологии (от лат. «errata» – «ошибки») – теории ошибок [22].

Употребляя слово «ошибка», мы неизбежно выходим на необходимость обращения к понятию активности (деятельности) человека как краеугольному камню в жизни людей. Многие знаменитые ученые посвятили ей свои труды [23]. В праксиологии (как теории совершенной деятельности) активность личности (субъекта отношений) трактуется как передача сигнала субъекту отношений (объекту воздействия) во взаимозависимости по установлению (восприятию) нормы [24, 25]. Сегодня о росте интереса к теории эффективного действия и праксеологической культуре свидетельствуют публикации последнего времени и защищенные диссертационные работы [26–29].

Трудно усомниться в тесной связи эффективного мышления (или системной мыслительности, по Г.П. Шедровицкому) и эффективной, устремленной к совершенству, деятельности. Многолетний опыт использования инструментов теории решения изобрета-

тельских задач (ТРИЗ), позволяющих избегать массы ошибок при постановке и решении нестандартных задач, а затем при реализации проектов в России и за рубежом, позволяет говорить о ней как о важной компоненте будущей праксеологии [30].

Методология и методы исследования

В работе использовали системно-диалектический, междисциплинарный, исторический, задачный и деятельностный подходы. Роль ошибок в инженерном деле, значимость теорий ошибок для инженерной практики и инженерного образования рассматривалась нами в свете полного жизненного цикла (ПЖЦ) систем. Кроме того, мы опирались на инструментарий ТРИЗ и теории эффективных решений (ТЭР): идеальный конечный результат, формулирования и разрешения противоречий, ресурсный анализ, анализ на соответствие проектируемых объектов закономерностям развития технических систем, методики «обращения задач» и «диверсионного анализа».

Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на важность проблемы ошибочных действий с конца XIX в., задачи её изучения не ставились до конца XX в. и рассматривались в контексте профилактики несчастных случаев, аварий, производительности труда, утомляемости, поиска способов управления состоянием в особых условиях. Предложена периодизация этапов изучения ошибки в деятельности: 1) середина XIX в. – начало XX в. (развитие психотехники, начало изучения труда и роли человека в профессии); 2) 20–60-е гг. XX в. (расцвет психотехники в мире, время репрессий и реабилитации отечественной инженерной психологии); 3) с 70-х гг. XX в. до н/вр. (развитие наук, связанных с изучением роли человека в профессиональной деятельности, в системе «человек–техника–среда») [14].

Исследования в сфере изучения причин появления ошибок в человеческой деятельности проводили многие ученые. Среди зарубежных известны разработки Г.У. Хайнриха. Более 20 лет он вел в Нью-Йоркском университете лекции по безопасности труда, был членом American Society of Safety Engineers (ASSE). Ещё работая руководителем технико-инспекционных подразделений страховой компании Travelers Insurance, Хайнрих написал книгу [31], идеи которой с восторгом восприняли работодатели США.

Известен закон Хайнриха («пирамиды травматизма»): на каждый несчастный случай с тяжелыми последствиями приходится 29 случаев получения легких травм и 300 потенциально опасных происшествий (1:29:300). В 1931 г. Хайнрихом была предложена теория «домино», по ней человеческие ошибки образуют последовательность, где первая ошибка неминуемо вызывает вторую, вторая – третью и т. д. Вместе с тем Хайнрих утверждал, что важно исследовать не только ошибочные действия людей, но и условия, в которых действия совершаются. Они ответственны за каждую пятую аварию («правило 80:20», по которому 80 % причин аварийных ситуаций связаны с опасными действиями персонала, а 20 % – с опасными условиями производства). Теория «домино» сыграла большую роль в изучении причин и моделировании промышленных аварий.

В развитии нештатной ситуации, по этой теории, – пять стадий. Первая обусловлена наследственностью человека и социальной средой, где он совершает действия в производственном процессе. На второй стадии сказываются личные недостатки человека (плохая память, медленная реакция). Третья охватывает опасные действия, которые может совершить человек. Четвертая стадия представляет аварию, а пятая – связанный с ней ущерб. Стадии подобны ряду стоящих костей домино. Удержав любую из первых, можно предотвратить последствия аварии в виде ущерба или несчастных случаев.

Позже теорию развили Э. Адамс, Ф. Бёрд и Р. Лофтас. Пересмотрев суть первых трех стадий Хайнриха, Адамс показал, что наследственность индивидуума и его личные каче-

ства – не главные в совершении ошибок. Основная причина – в организации. На первой стадии проявляются недостатки структуры управления (ошибки высших эшелонов управления), на второй – ошибки в самом управлении, на третьей – тактические. Недостатки в структуре влекут ошибки, связанные целями, организацией производства, планированием и выполнением операций. Ошибки управления тактические, они сами опасные действия или условия, способствующие авариям. Заслуга Адамса в выявлении причинно-следственной связи между стратегическими и тактическими ошибками.

Модель Бёрда и Лофтаса основана на теории Хайнриха, но в ней основное внимание уделено влиянию управления на процесс формирования причин промышленных аварий. Модель также включает пять стадий, но первые три рассматриваются под иным углом зрения. Первая стадия отражает недостатки в управлении, вторая связана с основными причинами аварии, а третья – с непосредственными причинами (табл. 2).

У теории «домино» был недостаток: она не объясняла, как отдельные элементы взаимодействуют друг с другом, вызывая аварию. При расследовании аварий стремились найти виновников – лиц, действия которых расценивались как опасные. Вопросы о том, как и почему они были совершены, игнорировались. Тенденция была преодолена Дж.Т. Ризоном (Манчестерский университет), работа которого в значительной степени основывалась на выявлении причин катастрофы 1986 г. в Чернобыле. В своей книге [19] он использовал аналогию с физиологической концепцией иммунной системы человека.

Таблица 2. Варианты теории «домино»
Table 2. Variants of the domino theory

Теория/Theory	Звенья цепи/Chain links			
Хайнриха Heinrich	Наследственность и социальная среда Heredity and social environment	Личные недостатки и ошибки Personal flaws and errors	Опасные действия Dangerous	Авария/Accident Ущерб и несчастные случаи Damage and unfortunate cases
Адамса Adams	Структура управления Management structure	Ошибки управления Control errors	Тактические ошибки Tactical mistakes	
Бёрда и Лофтаса Bird and Loftas	Недостатки в управлении: несоответствие стандартам Flaws in management: non-compliance with standards	Основные причины: низкая квалификация персонала, дефекты оборудования Main reasons: low qualifications of personnel, equipment defects	Причины: опасные действия людей, опасные условия работы Reasons: dangerous actions of people, dangerous working conditions	

По его модели, все организационные системы несут в себе «зародыши собственной кончины» в виде неких аналогов патогенов. Такие организационные «патогены» порождают латентные ошибки (скрытые сбои). Они могут накапливаться и взаимодействовать друг с другом, приводя к появлению новых ошибок.

Позднее Ризон усовершенствовал модель, в ней есть два пути распространения «патогенов»: по одному из них идут системные, а по другому – человеческие «патогены». На линии системных патогенов пять компонентов: 1) принятие решений на высших уровнях; 2) управление действиями на рабочих местах (работа «линейных» менеджеров); 3) предпосылки нештатных ситуаций в виде поведения людей, технологий и оборудования; 4) производственная деятельность, требующая синхронизации поступков персонала, работы оборудования и снабжения материалами; 5) система защитных мер для сведения к минимуму реализации потенциально опасных событий.

У Ризона, как и в теории «домино», главные «патогены» возникают на высших уровнях руководства, где принимаются стратегические решения: определяются цели и распределяются ресурсы. Из-за противоречий в целеполагании найти компромисс удастся не всегда, что ведет к появлению ошибок. Затем они распространяются по линиям управления к низшим уровням. Ошибки там – «спусковой крючок», активизирующий проявление скрытых ошибок. Второй компонент связан с действиями линейных менеджеров. Здесь ошибки стратегических решений превращаются в тактические ошибки. Третий компонент – промежуточный между линейным управлением и производством. Взаимодействие менеджеров с производством связано с качеством машин, техпроцессов и людей. Все это Ризон называет предпосылками. Четвертый компонент обозначает производственную деятельность людей и машин. Важнейшая функция здесь – синхронизация человеко-машинных действий выдаче продукции в нужное время, тогда как пятый компонент – система мер защиты людей и оборудования от опасностей, с которыми сопряжен процесс производства. Здесь важно предусмотреть варианты развития нештатных ситуаций, угрожающих здоровью людей или целостности оборудования.

Путь человеческих «патогенов» параллелен пути системных. Здесь также пять компонентов и компоненты двух линий попарно связаны. Связи пар обнаруживаются в виде причин появления человеческих ошибок из-за наличия системных ошибок. При этом латентные ошибки (скрытые сбои) характерны для первых компонентов путей тех и других «патогенов», четвертый из них (производство) сопровождается лишь явными сбоями, а пятый (система защитных мер) может давать как скрытые, так и явные сбои.

Ризон разделяет ошибки на типы, характеризующие организационные недостатки сложной системы (конкретного предприятия), и признаки – недостатки непосредственных исполнителей. Есть тип источников и тип функций. Первый связан со стратегическими решениями на высших уровнях управления, второй – с действиями «линейных» менеджеров. Признаки, связанные с психологическими предпосылками опасных действий (мотивация, отношение к работе, внимание), – это признаки условий. Признаки, вызываемые производственной деятельностью, – признаки опасных действий (здесь особое место принадлежит взаимодействию человека с машиной или компьютером). Таким образом, ученым дана классификация опасных действий людей, могущих привести к аварии (или чрезвычайной ситуации), выделены три типа человеческих ошибок – это промахи (просчеты), упущения и заблуждения (табл. 3), а также особый тип ошибок, называемых им нарушениями (табл. 4).

Представление о наличии у действия намерения позволило создать алгоритм установления преднамеренности. По Ризону, «ошибка» как термин применима лишь к преднамеренным действиям. Наличие волевой составляющей критично в юридическом понимании вины. Остальные действия могут быть квалифицированы как просчет, упущение или промах. Чтобы быть ошибкой, действие должно характеризоваться одной из черт: события пошли не по плану, или запланированное не обеспечило нужного результата.

Труды Ризона легли в основу подходов понимания причин небезопасного поведения, а также известной модели швейцарского сыра (Swiss Cheese model). Последняя используется в управлении рисками (авиа-безопасность, здравоохранение, инженерное дело и т. п.), лежит в основе многоуровневой, например, компьютерной, безопасности.

Таблица 3. Основная терминология (по Дж. Ризону)
Table 3. Basic terminology (according to J. Reason)

Термин/Term	Пояснение/Explanation
Ошибки Errors	Общий термин для описания всех случаев, когда запланированная серия умственных или физических действий не дает ожидаемого результата A general term to describe all cases, in which a planned series of mental or physical actions does not produce the expected result
Просчеты (промахи) Miscalculations (misses)	Небрежности (при планировании) в ходе экспертно-логической оценки при постановке цели, определении средств её достижения независимо от точности выполнения/невыполнения действий по плану работ Negligence (during planning) during an expert-logical assessment when setting a goal, determining the means to achieve it, regardless of the accuracy of execution/non-execution of actions according to the work plan
Оплошности и упущения Mistakes and omissions	Ошибки при физическом выполнении/неправильном исполнении последовательности действий независимо от адекватности и полноты Errors in physical execution/incorrect execution of a sequence of actions, regardless of adequacy and completeness

Таблица 4. Классификация причин опасных действий персонала, способных привести к авариям (по Дж. Ризону)
Table 4. Classification of causes of dangerous actions of personnel, capable of leading to accidents (according to J. Reason)

Опасные действия/Dangerous actions			
Намеренные/Intentional		Ненамеренные/Unintentional	
Нарушения/Violations	Заблуждения/Misconceptions	Упущения/Omissions	Промахи/Misses
Нарушения в штатных и нештатных ситуациях Violations in ordinary and emergency situations Акты саботажа Acts of sabotage	Заблуждения при выполнении правил Misconceptions about following the rules Заблуждения из-за недостатка знаний Misconceptions due to lack of knowledge	Недостатки памяти Flaws memory	Недостатки внимания Flaws attention

На стыке геодезии и математики в Советском Союзе в конце 1960-х гг. О.Б. Шейниным была защищена диссертация по истории теории ошибок [32]. Позже результаты его расширенных исследований опубликованы в Германии [33]. В советский период вышло много отечественных и переводных работ по теоретическим и прикладным аспектам теории ошибок. Значительная часть из них была посвящена предотвращению ошибок при проектировании сначала наземной, а после уже авиационно-космической техники, моделированию ситуаций, причем как на земле, так и в космосе [34–39]. Ряд изданий были напрямую посвящены проблемам биопсихологического и психолого-управленческого свойства, связанным с предотвращением ошибок при эксплуатации сложной техники [40–44].

Советские ученые активно изучали познавательные процессы (оперативного восприятия, памяти, мышления) лиц, действующих в аварийных ситуациях [45], а также вели исследования функционирования людей в сложных, экстремальных видах труда (работы

летчиков, бортпроводников, штурманов гражданской авиации). Осуществлялось их моделирование на ЭВМ. В 1972 г. Ю.К. Стрелков защитил в МГУ кандидатскую диссертацию «Микроструктурный анализ преобразований информации человеком», а в 1992 г. – докторскую на тему «Психологическое содержание штурманского труда в авиации». По истечении многих лет проблемы предотвращения ошибок в сфере авиации, увы, не сняты не только в нашей стране, но и за рубежом [46–48]. Анализ аварий и авиакатастроф последних лет свидетельствует, что до 60 % причин происшествий связаны с человеческим фактором (ошибки экипажа, диспетчерских служб, плохое самочувствие, усталость пилотов), до 30 % – с неисправностью техники (поломка бортовой техники, плохое качество топлива), до 20 % – с воздействием внешней среды (туманы, ливни, метели), до 10 % – прочие (теракты, саботаж, невыясненные) [49].

После страшной аварии в СССР в 1986 г. на Чернобыльской АЭС большое внимание было уделено проблемам обеспечения безо-

пасности объектов атомной энергетики (например, [50]), но по-прежнему не снижается актуальность других непреходящих проблем техногенного характера, что заметно по росту публикаций [51–62].

Почти 40 лет назад Й. Расмуссен (Датский технический университет) предложил классификацию ошибок по уровням производственной подготовленности [63], где типы ошибок определяются их происхождением (ошибки того или иного типа возникают на определенной стадии). Стадий – три, они идут от начала мыслительных усилий по идентификации цели действия до завершения намеченного действия. Он их называет стадиями планирования, хранения плана и исполнения (табл. 5).

Таблица 5. Распределение человеческих ошибок (по Й. Расмуссену)
Table 5. Distribution of human errors (according to J. Rasmussen)

Когнитивная стадия Cognitive stage	Тип ошибок Error type
Планирование/Planning	Заблуждения/Mistakes
Хранение плана/Plan storage	Упущения/Lapses
Исполнение/Execution	Промахи/Slips

Также Расмуссен выделил уровни формирования человеческих ошибок. Первый из них основан на умении (навыках), второй – на применении правил (инструкций) и третий – на знании. Режим работы на базе навыков – вид, требующий малого сознательного контроля при выполнении действий посредством сформированного намерения и представления о результатах. Идет в режиме «автомата» на устойчивых психомоторных навыках. Ошибки связаны с недостатками природных качеств личности: эмоций (спешка, усталость); чувства ответственности (плотный график работы, работа на неисправном оборудовании для выполнения плана); самоуверенности (не рассчитал силы).

Режим работы на базе правил характеризуется подчиненностью установленным процедурам. Они извлекаются из памяти для выбора действий в знакомой ситуации. Это: правила выполнения работ, набор инструкций от руководителя работ, нормы, выработанные оператором (собственный опыт). Ошибки здесь сводятся к неправильной классификации и оценке рабочей ситуации. Результат таких ошибок – применение неверно подобранного

правила, неадекватной или ложной процедуры.

Режим работы на базе знаний – режим мышления и умозаключений. Включается при решении новых, незнакомых рабочих задач и при необходимости – при планировании и принятии решений в режиме реального времени посредством использования имеющегося в памяти знания и осознанных процедур. Ошибки здесь происходят из-за неполноты знаний и ограниченности ресурсов. Такие ситуации хорошо объясняет теория ограниченной рациональности лауреата Нобелевской премии Г. Саймона [64].

Таким образом, у ансамбля концепций человеческих ошибок есть свои сильные и слабые стороны. Очевидно, что множественные человеческие ошибки порождают риски организаций (предприятий), которые следует рассматривать целостно на разных уровнях социальной общности. Если ошибки рядовых сотрудников можно исправить или чем-то компенсировать, то ошибки руководителя могут стать роковыми для организации. Ситуация осложняется, когда речь идет не о случайных ошибках, а о сложившемся управленческом подходе [65]. Многие из управленческих ошибок повторяются у различных руководителей, являясь типичными [66].

Сегодня руководители многих предприятий страны активно осваивают «бережливое производство» (по англ. lean production) – концепцию управления предприятием, основанную на стремлении к устранению всех видов потерь. Здесь вполне уместно заметить, что в основе этой концепции лежат наработки 1920–1930-х гг. Центрального института труда в СССР, идеи российских ученых А.К. Гастева, О.А. Ерманского и др., творчески переработанные японцами. В рамках концепции функционируют методы предотвращения ошибок [67], звучащие на японском языке как «пока-ёкэ» («защита от ошибок») и «бака-ёкэ», буквально, – «защита от дурака»).

Сегодня также известно, что разрекламированная и связанная с именем «гуру качества» Ф. Кросби в США система бездефектного производства (Zero Defects) [68, 69], появившаяся в 1962 г. на предприятиях компании Martin Marietta Co (теперь Lockheed Martin), впервые была реализована в Советском Союзе на Саратовском авиационном заводе ещё в 1955 г. (директор Б.А. Дубовиков) [70].

Стремительная цифровизация социально-экономической жизни общества вполне естественно повысила актуальность предотвращения ошибок в информационно-технологической сфере при создании программных продуктов [71–73].

Развал СССР негативно отразился на всех сферах социально-экономической жизни в России, включая гордость страны – космическую отрасль [74, 75]. Так, за период 2004–2014 гг. в России случилось 19 неудачных запусков космических аппаратов, при этом исследование причин неудач позволило выявить преобладание технической группы рисков. На втором месте по частоте проявления оказались человеческие риски.

Анализ нештатных ситуаций в 2011–2020 гг. показал следующее процентное соотношение причин нештатных ситуаций: ошибки персонала – 27 %; компьютерные неисправности и срабатывание систем автоматики – 20 %; неисправности в третьей ступени ракетносителя – 20 %; неисправности в перелетном модуле – 7 %; неисправности в разгонном блоке – 7 %; неисправности в беспилотном космическом корабле – 7 %; неисправности во второй ступени ракетносителя – 6 %; причина не определена – 6 % [76]. Публикации последнего времени свидетельствуют о том, что ошибки в космической сфере вообще имеют мировой, интернациональный характер [77].

Ещё в начале нашей эры Аврелий Августин (Блаженный Августин) говорил: «Ошибаюсь – значит существую», а наш великий А.С. Пушкин в своем известном стихотворении «О сколько нам открытий чудных...» (1829 г.) связывал преодоление человеком трудных ошибок с важнейшим делом – накоплением опыта. Безусловно, ключевой момент эффективной мыследеятельности – грамотное (правильное) целеполагание, которое является весьма сложным процессом [78, 79]. Производство хороших идей – важное дело, хотя известно, что из 3000 «сырых идей» на рынок выходит, увы, лишь 1 успешный коммерческий продукт. Печально, но эта масса идей, по статистике, порождает лишь 300 заявок на патенты, которые трансформируются в 125 проектов, затем 9 опытных, 4 промышленных образца и 1,7 выходов на рынок [80]. Отсюда следует вывод о важности старта инновационного процесса и минимизации ошибок на нем.

Известно, что в процентном отношении возможность повышения эффективности новых продуктов на стадиях ПЖЦ составляет: на стадии НИОКР и проектирования – 75 %, подготовки производства – 19 %, тогда как на стадии производства – лишь 6 % [81].

Значимость проектной деятельности для человеческой цивилизации очень высока. По данным Российской ассоциации управления проектами «СОВНЕТ», 40 % общественно-полезной деятельности реализуется через проекты, при этом на них тратится до 25 % мирового бюджета. Участие в проектах занимает 30–70 % рабочего времени менеджеров среднего и высшего звена [82].

Во всякой деятельности, в т. ч. проектной, важно «мыслить глобально, а действовать локально», соблюдая важную не только для медицины заповедь Гипократа «Не навреди!». Необходимость интеллектуального выхода в надсистему (более полную систему) при решении какой-либо проблемы в системе, актуальной для лица, принимающего решения (ЛПР), прямо вытекает из доказательств К. Гёделем его теорем «О неполноте». Для этих целей в ТРИЗ используется системный оператор (СО) – «схема многоэкранного мышления» [83. С. 67]. Её «плоский» вариант включает 9 «экранов» в осях времени (прошлое–настоящее–будущее) и пространства с иерархией систем (надсистема–система–подсистема). Ещё большая системность проектного мышления достигается при переходе в трехмерный вариант – при введении оси разнообразия систем, где появляется 9 «экранов» плоскости альтернативных систем (систем с другим принципом действия) и 9 «экранов» антисистем (с противоположной функцией). Не случайно слово «проект», «проектное управление» в последние годы стало атрибутом массы диссертационных исследований и публикаций по космической тематике [84–86].

Не обошли вниманием проблему ошибок в сфере инженерии методологи и разработчики теории изобретательства (ТРИЗ). Ещё в 1977 г. Г.С. Альтшуллер сформулировал и распределил 42 типовых ошибки изобретательской деятельности по стадиям: 1) до начала работы (1–4); 2) при выборе ситуации и переходе от ситуации к задаче (5–16); 3) в процессе решения (17–30); 4) при оценке ответа (31–35); 5) при разработке и внедрении (36–40); 6) после окончания работы (41 и 42) [87]. В одной

из работ Н.Н. Хоменко [88] в разделе 3 «Почему сложна сложная проблема» в табличном виде даны 9 причин затруднений у решателей задач (по сути, типичные). В этой же работе Хоменко, вспоминая Леонардо да Винчи как одного из первых «профессиональных решателей проблем», зарабатывавшего средства на жизнь решением проблем в самых разных областях (от искусства до инженерного дела), привел главные идеи его подхода: 1) изучать науку искусства; 2) изучать искусство науки; 3) развивать все имеющиеся органы чувств; 4) помнить, что все в этом мире взаимосвязано со всем остальным. Эти идеи и сегодня нетривиальны и универсальны, однако совершенно ясно, что они малопригодны для подготовки решателей подобных Леонардо (таковых, увы, нет).

Инженерам, занятым на всех уровнях ПЖЦ технических систем, будет полезна систематизация типовых ошибок формулирования задач (табл. 6), приведенная в [89].

Хорошие ориентиры в поиске скрытых резервов совершенствования продукции дают рекомендации анализа скрытых резервов совершенствования продукции (табл. 7), сложившиеся на базе многолетнего опыта работы с предприятиями [89].

Для современных решателей проблем (уже занятых на многих производствах ИТР, а также нынешних студентов, а завтра – будущих инженеров) будут полезны советы и примеры, предотвращения ошибок, приведенные А.Х. Певзнером в его книге [90]. Они основаны на стройной системе общих законов формирования, функционирования и развития технических систем, непосредственно выявленных в процессе развития ТРИЗ, а также обобщенных (полученных в рамках других наук).

Минимум инструментов ТРИЗ и ТЭР, успешно используемых в инновационном проектировании включает блоки: 1) представлений об идеальности (идеальном конечном результате – ИКР); 2) формулирования противоречий (административных – АП, технических – ТП, физических – ФП); 3) анализа ресурсов (как средств развития систем любой природы); 4) законов организации, функционирования и развития систем [82].

В процессе развития ТРИЗ при анализе исследовательских задач (задач на «обнаружение» или «измерение») была разработана методика «обращения задач» – перевода их

из обнаружительных (измерительных) в изменительные. Она позволила лучше выявлять скрытые дефекты в деталях, конструкциях, скрытые недостатки в технологических процессах, как действующих, так и на стадии их проектирования [89. С. 131]. Обращение задач сегодня выросло до развитого «диверсионного анализа (подхода)», который активно используется в России и за рубежом в самых разных сферах [91–93], вплоть до анализа деятельности вуза (пример факультета Бизнес-информатики Пермского филиала НИУ-ВШЭ [94]). Поэтому освоение этих подходов будущими инженерами представляется чрезвычайно важным делом.

Авторы «Инженерной онтологии», обсуждая проблему инженерных ошибок, размещают их на крестообразной схеме. В ней «ошибки незнания», идущие из прошлого (горизонтальная ось), связаны с тем, что наукой (прежде всего, физикой) не дано результатов, нужных для текущей инженерной деятельности, что порождает конструкторские ошибки, уходящие в будущее. Сверху на вертикальной оси – онтологические ошибки, носящие смысловой характер, тогда как снизу – технические и эксплуатационные ошибки («неусмотрения оператора»). В центре на пересечении осей обнаруживаются «ошибки инженерии» в виде создания «неправильных» технических систем [95. С. 134].

При обсуждении концепций ошибок и ошибочного поведения людей трудно не упомянуть социальные закономерности пока ещё неясной природы, получивших название «законов Мерфи». Они хорошо известны под именами «закона подлости» (русская трактовка), «закона бутерброда» (падающего назло на дорогой ковер маслом вниз) или «генеральского эффекта» (согласно которому нежелательная пакость обязательно случится в самый неподходящий момент, например, при приезде высокого начальника).

В шутильной форме закон звучит так: «Если что-нибудь может пойти не так, оно пойдёт не так» [96]. Как ни странно, эти закономерности, увы, порождают много бед.

Человек, как известно, – сложная биосоциальная система. Поэтому и микроструктура факторов риска (исходящая от ошибок) отражает уровни строения этой системы: индивидуальный, личностный, профессиональный и морально-этический.

Таблица 6. Типовые ошибки формулирования задач и способы их устранения
Table 6. Typical errors in formulating tasks and ways to eliminate them

Тип/Type	Сущность/Essence	Способ устранения/Remedy
Глобализм Globalism	Слишком общая постановка задачи Too general statement of the problem	Специалист должен конкретизировать задачу, «привязав» её к конкретной ситуации The specialist must specify the task, "tying" it to a specific situation
Излишняя конкретика Too specific	Очень узкая постановка задачи Very narrow problem statement	Изложить задачу без специальных терминов, чтобы было понятно ребенку 12–14 лет State the problem without special terms so that a child of 12–14 years old can understand it
Тупик Dead end	Постановка, ведущая в «никуда» A production leading to "nowhere"	Реконструировать ситуацию, выбрать иную задачу, решение которой может дать нужный эффект Reconstruct the situation, choose a different task, the solution of which can give the desired effect
Прожекторство Projection	Вместо конкретной задачи пытаются решать сложную Instead of a specific problem, they try to solve a complex one	Нужна реконструкция ситуации, выбор другой задачи того же либо более высокого уровня, обеспечения нужного результата What is needed is a reconstruction of the situation, the choice of another task of the same or a higher level, ensuring the desired result is obtained
Путаница Confusion	Под видом одной прячется клубок связанных задач Under the guise of a task there is a tangle hiding related ones	Выделить простые задачи и решать каждую в отдельности в предположении, что другие решены. Если задачи разнятся по иерархии, выбрать ключевую Select simple ones and solve each one separately, assuming that the others have been solved. If tasks vary in hierarchy, select a key one
Излишек данных Excess data	Задача «растворена», размыта данными The task is "dissolved", blurred by data	Необходимо выявить суть задачи – конфликт, отбросив все несущественное It is necessary to identify the essence of the task – the conflict, discarding everything unimportant
Мало информации Few information	Упущено важное из-за известности, несущественности Important things missed due to fame, insignificance	Если поисковик не специалист в данной области, он не должен браться за организацию решения задачи без обращения к специалистам If a search engine is not an expert in a given field, it should not undertake organizing a solution to a problem without contacting specialists
Избыток ограничений Too many restrictions	Требование «ничего не менять» и решать «лишь так» The requirement to "change nothing" and solve "the only way"	Уточнить обоснованность тех или иных запретов. Дать формулировку, позволяющую обойти запреты Clarify the validity of certain prohibitions. Give wording that allows you to circumvent the prohibitions
Вторичное объяснение Secondary explanation	Эффект толкуется привычным заблуждением The effect is interpreted as usual delusion	Надо понять физику (суть) процесса, не полагаясь на предлагаемые специалистами объяснения причин явлений It is necessary to understand the physics (essence) of the process, without relying on explanations of the causes of phenomena offered by experts
Ложные задачи False problems	Случайно попавшие в поле зрения Randomly caught in the field of view	Для устранения ошибки задаем вопрос: какой эффект будет получен, если задача будет решена To eliminate the error, we ask the question: what effect will be obtained if the problem is solved?
Близорукая задача Myopic task	Нет учета смены условий за время решения и внедрения There is no accounting for changing conditions during solution and implementation	Выяснить перспективы, введя поправку на время, нужное для внедрения, возможно, даже несколько увеличив требуемые параметры системы Find out the prospects by introducing an adjustment for the time required for implementation, perhaps even slightly increasing the required system parameters

Неучет масштаба Non-accounting scale	Постановка без учета масштабов внедрения Staging without taking into account implementation scale	Для устранения ошибки рассмотреть конкретные условия работы системы, учесть масштаб и условия производства To eliminate the error, consider the specific operating conditions of the system, take into account the scale and production conditions
«Изобретать велосипед» «Reinvent the wheel»	Пробы решать без обращения к известным решениям Solve problems without resorting to known solutions	Необходим хороший патентно-информационный поиск по проблеме A good patent information search on the problem is required
Ориентир на известное Focus on famous	Берут известное, боясь сложности внедрения нового They take what is known, fearing the complexity of introducing something new	Для устранения ошибки надо попытаться решить мини-задачу: избавиться от недостатков известных решений To eliminate the error, you need to try to solve a mini-task: get rid of the shortcomings of known solutions
Несистемность Unsystematic nature	«Поверхностная» постановка «Superficial» setting	Надо выявить всю цепочку задач, найти среди них ключевую и рассмотреть возможность её решения It is necessary to identify the entire chain of problems, find the key one among them and consider the possibilities of solving it
Исправительная задача Correctional task	Устранение «бед» от предыдущих операций Elimination of «troubles» from previous operations	Проверить, не окажется ли более простым решение устранить неприятности там, где они возникли See if a simpler solution would be to eliminate the troubles where they arise

Таблица 7. Скрытые резервы совершенствования продукции
Table 7. Hidden reserves for product improvement

Вид резерва/Reserve type	Признаки наличия/Signs of presence	Причины появления/Reasons for appearance	Метод выявления/Detection method
Завышенные и излишние требования в техническом задании (ТЗ) Inflated and unnecessary requirements in technical specifications (TS)	Неполное использование возможностей изделия в эксплуатации. Применение изделия в непредусмотренных ТЗ условиях Incomplete use of the product operational capabilities. Use of the product in conditions not specified in the technical specifications	Неточная информация об условиях работы проектируемой системы. Недоучет экономических критериев. Перестраховка заказчиков Information about the operating conditions of the designed system is inaccurate. Underestimation of economic criteria. Reinsurance of customers	Анализ условий и опыта эксплуатации изделий, выявление реальных требований Analysis of product operating conditions and experience, identification of real requirements
Завышенные по сравнению с ТЗ характеристики изделия (прочность, мощность, точность...) Product characteristics that are inflated compared to technical specifications (strength, power, precision...)	Превышение параметров по сравнению с аналогами. При массовом производстве – кажущееся благополучие, отсутствие поломок и рекламаций Exceeding parameters compared to analogues. In mass production – apparent well-being, absence of breakdowns and complaints	Перестраховка производителей, конструкторов. Проектирование без серьезного расчета, «на глазок». Недоучет экономических критериев Reinsurance for manufacturers and designers. Design without serious calculations, “by eye”. Underestimation of economic criteria	Сравнение с аналогами. Анализ опыта эксплуатации. Расчетная проверка обоснованности параметров Comparison with analogues. Analysis of operating experience. Calculation check of parameters validity

Консерватизм конструктивно-технологических решений в новых и в давно выпускаемых изделиях Conservatism of design and technological solutions in new and long-produced products	Несоответствие технического уровня изделий лучшим аналогам. Явные нарушения закономерностей и тенденций развития технических систем Inconsistency of the technical level of products with the best analogues. Obvious violations of patterns and trends in the development of technical systems	Слабое изучение научно-технической и патентной информации. Неумение, боязнь вести поиск нового. Много лет не было пересмотра изделия и технологии Poor study of scientific, technical and patent information. Inability, fear of searching for something new. There has been no revision of the product and technology for many years	Сравнение с аналогами. Анализ путей развития изделия. Выявление возможности его изменения Comparison with analogues. Analysis of product development paths. Identifying the possibility of changing it
Непредусмотренное вредное взаимодействие частей системы или между ней и внешней средой Unintended harmful interactions between parts of a system or between it and the external environment	Труднообъяснимые повреждения изделий в испытаниях, при эксплуатации. Не предусмотренные проектом особенности выявлены при эксплуатации Difficult to explain damage to products during testing and operation. Features not provided for by the design were identified during operation	Недостаток научно-технической информации. Отсутствие системного подхода к изделию Lack of scientific and technical information. Lack of a systematic approach to the product	Анализ взаимодействий, выявление всех видов взаимодействий, их комбинаций. Нужен диверсионный подход Analysis of interactions, identification of all types of interactions, their combinations. A diversionary approach is needed
Недоработка, «сырость» конструкции и/или технологии изготовления изделия Defects, "dampness" of the design and/or manufacturing technology of the product	Большое количество изменений конструкции, технологии, рационализации. Большой процент брака. Наличие «узких мест» в производстве, сложный маршрут изделий. Низкий к.п.д. использования оборудования Large number of design changes, technology, rationalization. High percentage of defects. Presence of bottlenecks in production, complex route of products. Low efficiency equipment use	Пропуск нужных этапов при разработке изделия. Недостаточное внимание разработчиков к испытаниям, эксплуатации изделия. Изоляция друг от друга конструкторско-технологических, производственных служб Skipping necessary steps during product development. Insufficient attention of developers to testing and operation of the product. Isolation of design, technological, logical and production services from each other	Анализ изменений конструкции и технологии, рационализаторских предложений, трудностей производства и эксплуатации, данных по браку и рекламаций Analysis of design and technology changes, rationalization proposals, difficulties in production and operation, data on defects and complaints
Плохое сопряжение отдельных частей изделия Poor mating of individual parts of the product	Отсутствие сверхсуммарных эффектов от частей. Наличие у элементов конструкции лишь функций соединения. Вредное взаимодействие частей No super-total effects from parts. Presence of structural elements only with connection functions. Harmful interactions of parts	Отсутствие продуктивных контактов подразделений, конструкторских бюро, отделов, специалистов, разрабатывающих разные части изделия Lack of productive contacts between divisions, design bureaus, departments, specialists developing different parts of the product	Анализ связей и взаимодействий между узлами и деталями изделия Analysis of connections and interactions between components and parts of the product
Наличие в изделии узлов, деталей, не выполняющих полезных функций Presence of components or parts in the product that do not perform useful functions	Отсутствие изменений в чертежах деталей, сопрягаемых с измененными No changes in the drawings of parts mating with the changed	Изменение частей изделия без согласованных изменений других частей (несистемный подход к изменениям) Changing parts of a product without coordinated changes to other parts (non-systematic approach to changes)	Анализ изменений конструкции Analysis of design changes

Необоснованность отдельных второстепенных конструктивных решений при достаточной обоснованности основных Unreasonableness of individual minor design decisions with sufficient validity of the main ones	Излишняя трудоемкость деталей, не соответствующая выполняемым функциям. Выход из строя отдельных вспомогательных деталей Excessive labor intensity, material consumption of parts that does not correspond to the functions performed. Failure of individual auxiliary parts	Недостаточное внимание к второстепенным элементам. Вынужденные, временные решения, оставшиеся в технической документации, хотя породившие их причины давно исчезли Insufficient attention to secondary elements. Forced, temporary solutions that remain in technical documentation, although the reasons that gave rise to them have long disappeared	Поэлементный анализ деталей, оценка их соответствия функциям. Сравнение с деталями, выполняющими сходные функции Element-by-element analysis of parts, assessment of their compliance with functions. Comparison with parts performing similar functions
Наличие неудачных решений, не ухудшающих функционирования изделия, но повышающих стоимость Presence of unsuccessful solutions that do not worsen the functioning of the product, but increase the cost	Излишние запасы прочности, наличие заведомо «перетяжеленных» деталей, лишних обработок, необоснованной высокой чистоты, точности покрытий и т. п. Excessive safety margins, presence of deliberately “overweight” parts, unnecessary processing, unreasonably high cleanliness, precision coatings, etc.	Резерв, умышленно оставленный конструктором для обеспечения возможности последующих улучшений (выполнение плана оргтехмероприятий, подачи рацпредложений) Reserve intentionally left by the designer to ensure the possibility of subsequent improvements (implementation of the organizational and technical measures plan, submission of improvement proposals)	Системное рассмотрение изделия System review of the product
Низкий уровень унификации и стандартизации изделий, ограничение унификации простыми деталями Low level of unification and standardization of products, limiting unification to simple parts	Обилие вспомогательных деталей (крепеж, отверстия и т. п.), входящих в конструкцию. Наличие на заводе большого количества различных исполнений однотипных узлов Abundance of auxiliary parts (fasteners, holes, etc.) included in the design. Availability at the plant of a large number of different versions of the same type of units	Недостаточное внимание и формальное отношение к унификации. Отсутствие продуктивных контактов между разными конструкторскими подразделениями Insufficient attention and formal attitude towards unification. Lack of productive contacts between different design departments	Сравнительный анализ вспомогательных деталей, одноименных узлов, спроектированных разными конструкторами Comparative analysis of auxiliary parts, units of the same name, designed by different designers
Избыточный уровень унификации и стандартизации Excessive level of unification and standardization	Унификация типоразмеров изделий в случаях, когда каждый из типоразмеров выпускается массово Unification of standard sizes of products in cases where each standard size is mass produced	Формальный подход к унификации Formal approach to unification	Анализ объемов выпуска и применимости унифицированных деталей Analysis of production volumes and applicability of standardized parts

Ошибки конструкции из-за психологических факторов. Избыток массы, сложность деталей, связанная с их симметричностью, несоответствие формы материалам Design errors due to psychological factors. Excess weight, complexity of parts associated with their symmetry, mismatch of shape with materials	Симметрия деталей, наличие четного числа узлов крепления в тех случаях, когда это не вызвано функционально-технологическими требованиями. Выполнение различных частей изделия одним и тем же специалистом Symmetry of parts, the presence of an even number of fastening points in cases where this is not caused by functional and technological requirements. Execution of different parts of the product by the same specialist	Привычка конструкторов «видеть» изделие в виде чертежа, подсознательное желание сделать деталь удобной не столько для изготовления, сколько для вычерчивания. Психологическая инерция, стремление к привычным формам, решениям Habit of designers to "see" a product in the form of a drawing, a subconscious desire to make the part convenient not so much for manufacturing as for drawing. Psychological inertia, desire for familiar forms and solutions	Проверка повторяющихся элементов конструкции. Анализ объекта группой представителей разных специальностей, различных подразделений предприятия Checking duplicate design elements. Analysis of the object by a group of representatives of different specialties, various departments of the enterprise
Низкая технологичность изделия Low manufacturability of the product	Брак, неритмичность, сложная технология, низкий коэффициент использования оборудования, большой объем ручного труда Defects, irregularity, complex technology, low equipment utilization, large amount of manual labor	Нет контакта конструкторов, технологов, слабо инструментальное производство. Изделия спроектированы на иную технологию There is no contact between designers and technologists, poor tool production. Products are designed using a different technology	Сравнение нормативной и фактической технологии. Анализ технологии изготовления изделия Comparison of normative and actual technology. Analysis of product manufacturing technology
Изделие плохо поддается механизации и автоматизации The product is difficult to mechanize and automate	Большой объем ручного труда, сложная форма деталей, большой объем оснастки Large volume of manual labor, complex shape of parts, large volume of equipment	Пробы автоматизации производства изделий, спроектированных для ручного производства Trials of automation in the production of products designed for manual production	Поэлементный анализ деталей. Анализ оснастки Element-by-element analysis of parts. Tooling analysis
Несоответствие изделия и/или технологии его изготовления типу производства Inconsistency of the product and/or its manufacturing technology with the type of production	Повышенная, по сравнению с аналогичными изделиями, средняя для предприятия норма удельного веса ручного труда Increased share of manual labor compared to similar products, the average for an enterprise norm	Изделие, запроектированное для единичного/мелкосерийного производства выпускается массово без переработки конструкции A product designed for single/small-scale production is mass produced without redesigning the design	Анализ истории разработки и выпуска изделия, динамики роста его выпуска Analysis of the history of development and production of the product, the dynamics of growth of its production

Современная макроструктура факторов риска включает в себя уровни: экологический, международный, государственный, организационный, групповой и индивидуальный. К выделенным типам социальной общности относятся: все мировое сообщество, государство, организация, малая группа и конкретный человек. Отсюда логично следует, что и уровни возникновения рисков аналогичны вышеназванным: международный, государственный, организационный, групповой и индивидуальный.

Ошибка, по мнению ученых, онтологически и антропологически связана с недостаточностью, заключенной в самой природе человека. Человеку часто не хватает знаний, навыков и умений, интеллектуальных средств совершения выбора. Существенно сократить и уменьшить возможную область ошибок человека, как уже отмечалось, может его целеполагание, обоснованный выбор ориентиров

своего будущего [97]. Добавим, что уже сегодня не только действующие инженеры, а также будущие (нынешние студенты) могут опираться на надежный инструментарий ТРИЗ в деле предотвращения многих ошибок на разных фазах жизненного цикла создаваемых технических систем.

В завершении приведем мысль философа А.Е. Зимбули (РГПУ им. А.И. Герцена), по которой со временем оформится самостоятельная область практической науки – «ошибковедение», где будут «союзнически объединены усилия теорий познания, психологии, филологии, педагогики, этики, политологии, физики, химии, математики, теории управления. Предметом данной науки станет... многомерная матрица человеческих ошибок в самых разных сферах жизни... Ведь вся человеческая история, в сущности, – это смелый поиск плюс нескончаемая работа над ошибками» [98. С. 35].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхович Ю.В. Ценностный смысл инженерного образования // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. – 2015. – № 1–2. – С. 9–23.
2. Мартынов В.Г., Шейнбаум В.С. Ответственность – ключевая компетенция инженера XXI века // Высшее образование в России. – 2022 – Т. 31. – № 2. – С. 107–118.
3. Селиванов Ф.А. Поиск ошибочного и правильного. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. у-та, 2003. – 195 с.
4. Сафин А.М. Ошибка как социальный феномен: автореф. дис... канд. филос. наук. – Казань, 2014. – 24 с.
5. Стеценко Э.В. Человек – ошибка природы. URL: <https://proza.ru/2023/12/25/1418> (дата обращения: 13.04.2024).
6. «Теории»: Человек как ошибка. Философия Александра Кожева. URL: <https://concepture.club/post/obrazovanie/kozhev> (дата обращения: 13.04.2024).
7. Линь Юйтан. Китайцы: моя страна и мой народ. – М.: Восточная литература, 2010. – 335 с.
8. Стрелков Ю.К. Инженерная и профессиональная психология. – М.: Высшая школа: Academia, 2001. – 358 с.
9. Бергсон А. Творческая эволюция. – М.: Терра-Книжный клуб, 2001. – 384 с.
10. Канке В.А. Этика ответственности: теория морали будущего. – М.: Логос, 2003. – 400 с.
11. Найченко М.В. Ошибки операторов при взаимодействии с образцами военной техники // Военная мысль. – 2023. – № 5. – С. 96–103.
12. Балашов Л.Е. Ошибки и перекосы категориального мышления. – М.: ACADEMIA, 2002. – 140 с.
13. Тетерлева Е.В., Попова Ю.К. Понятие ошибки в контексте различных научных дисциплин // Проблемы романо-германской филологии, педагогики и методики преподавания иностранных языков. – Пермь: ПГПУ, 2010. – С. 36–40.
14. Пекарь Е.В., Сокольская М.В. История изучения ошибки как единицы психологического анализа профессиональной деятельности // Вестник МГПУ. Серия: Педагогика и психология. – 2021. – № 4 (58). – С. 180–202.
15. Вебер М.М. Условия безопасности железнодорожного движения. Очерк барона М.М. фон-Вебера. – М.: Типогр. В.Я. Барбей, 1880. – 149 с.
16. Рихтер И.И. Железнодорожная психология: материалы к стратегии и тактике железных дорог. – СПб: Тип. бр. Пантелеевых, 1896. – 246 с.
17. Энгельмейер П.К. О проектировании машин. Психологический анализ // Техническое образование. – 1899. – № 3. – С. 44–65.
18. Бризон П. История труда и трудящихся. – СПб: Государственное изд-во, 1921. – 447 с.
19. Reason J. Human error. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. – 302 p.
20. Юртаева Т.С. Теория ошибок и паралогизмы // Риторика. Семиотика. Языкознание: сб. статей к 70-летию проф. А.А. Волкова. – М.: Добросвет, 2016. – С. 86–98.

21. Новицкая И.В., Вакалова А.Е. Теория ошибки в свете различных подходов // Молодой ученый. – 2016. – № 26. – С. 788–794.
22. Марьянович А.Т. Эрратология или как избежать наиболее неприятных ошибок при подготовке диссертации. – М.: Вузовская книга, 1999. – 164 с.
23. Von Mises L. Human action: a treatise of economics. – Yale: Yale University Press, 1949. – 906 p.
24. Котарбинский Т. Трактат о хорошей работе. – М.: Экономика, 1975. – 271 с.
25. Слуцкий Е. Этюды до проблемы будования формально-праксеологичных засад экономики // Акад. наук. Кі'ев. – 1926. – Т. 4. – С. 1–11.
26. Павлович А.А. Концепция философской праксеологичности в социальной философии: автореф. дис... д-ра филос. наук. – Пермь: ПГУ, 2000. – 43 с.
27. Семченко Е.Е. Праксеологическое образование: монография. – М.: Мир науки, 2015. – 82 с.
28. Равен Дж., Ярыгин О.Н., Коростелев А.А. Компетентология: от праксеологии до социкибернетики // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2017. – Т. 6. – № 1 (18). – С. 167–175.
29. Девятловский Д.Н. Становление и развитие праксеологической культуры обучающегося технического вуза: автореф. дис... д-ра пед. наук. – Кемерово, 2021. – 36 с.
30. Лихолетов В.В. Пригодность инструментария ТРИЗ для формирования навыков инженеров будущего // Инженерное образование. – 2020. – Вып. 27. – С. 6–26.
31. Heinrich H.W. Industrial accident prevention: a scientific approach. – NY.: McGraw-Hill Book Company, 1931. – 480 p.
32. Шейнин О.Б. Некоторые вопросы истории теории ошибок: автореф. дис ... канд. физ-мат. наук. – М., 1967. – 11 с.
33. Шейнин О.Б. История теории ошибок. – Берлин: NG Verl., 2007. – 176 с.
34. Лашенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений. – Л.: Стройиздат, 1969. – 184 с.
35. Коднир Д.С., Парахонский О.И., Данильченко А.И. Типичные ошибки при конструировании. – Куйбышев: Типография КАИ, 1971. – 61 с.
36. Тищенко А.А., Ярополов В.И. Моделирование при обеспечении безопасности космических полетов. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.
37. Предупреждение деформаций и аварий зданий и сооружений / А.И. Работников, А.А. Михайлов, Б.М. Кованев, В.И. Мосяк. – Киев: Будівельник, 1984. – 120 с.
38. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985. – 272 с.
39. Справочник по безопасности космических полетов / Г.Т. Береговой, В.И. Ярополов, И.И. Баранецкий и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
40. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и её применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
41. Котик М.А., Емельянов А.М. Ошибки управления. Психологические причины: метод автоматизированного анализа. – Таллин: Валгус, 1985. – 391 с.
42. Носов Н.А. Ошибки пилота: психологические причины. – М.: Транспорт, 1990. – 64 с.
43. Пономаренко В.А., Завалова Н.Д. Авиационная психология. – М.: Институт авиационной и космической медицины, 1992. – 200 с.
44. Каманин Н.П. Скрытый космос. – М.: Инфортекст-ИФ, 1997. – 400 с.
45. Банных Н.О. Проектирование процесса профессиональной подготовки операторов к деятельности в аварийных ситуациях: автореф. дис...канд. психол. наук (для служебного пользования). – М., 1985. – 17 с.
46. Евстигнеев Д.А., Карнаухов В.А. Авиационная психология для авиадиспетчеров. – Ульяновск: Изд-во УБАУ ГА, 2005. – 137 с.
47. Ellis S., Gerighty T. English for aviation for pilots and air traffic controllers. – Oxford: Oxford University Press, 2008. – 96 p.
48. Шетинина Н.А. Типичные ошибки пилотов при восприятии сообщений радиообмена гражданской авиации // Молодой ученый. – 2012. – № 2 (37). – С. 192–195.
49. Дьячков Д.В., Золотарев О.В. Анализ статистики авиакатастроф на основе исследования множества факторов // Физико-техническая информатика – СРТ2020: Материалы 8-ой Международной конференции. Ч. 2. – Нижний Новгород: Научно-исследовательский центр физико-технической информатики, 2020. – Т. 2. – С. 289–320.
50. Физические модели тяжелых аварий на АЭС / Р.В. Арутюнян, Л.А. Большов, А.Д. Васильев, В.Ф. Стрижов / отв. ред. Н.Н. Пономарев-Степной. – М.: Наука, 1992. – 228 с.
51. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1. / под ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 1995. – 320 с.
52. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 2 / под ред. К.Е. Кочеткова, В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 1996. – 384 с.
53. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 3 / под ред. В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 416 с.

54. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 4 / под ред. В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 208 с.
55. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 5 / под ред. В.А. Котляревского, А.В. Забегаева. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 416 с.
56. Леденев В.В., Скрылев В.И. Предупреждение аварий. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 240 с.
57. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 6 / под ред. В.А. Котляревского. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 408 с.
58. Добромислов А.Н. Ошибки проектирования строительных конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 208 с.
59. Миненко А.А. Методика комплексного анализа причин аварий строительных объектов на различных фазах жизненного цикла. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2010. – 53 с.
60. Леденев В.В. Аварии в строительстве. Т. 1. Причины аварий зданий и сооружений. – Тамбов: ТГТУ, 2014. – 210 с.
61. Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах. – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.
62. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах хранения нефти и нефтепродуктов / В.Н. Пермяков, Ю.В. Сивков, В.А. Мартынович, Л.Б. Хайруллина. – Тюмень: ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 120 с.
63. Rasmussen J. Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering. – NY: Elsevier Science Ltd, 1986. – 215 p.
64. Simon H.A. Rationality as process and as product of thought. Richard T. Ely Lecture // American Economic Review. – 1978. – Vol. 68. – № 2. – P. 1–16.
65. Василишина Т. 10 главных ошибок управленцев // HRMagazine. – 2013. – № 1. URL: http://www.hrm.ua/article/glavnih_oshibok_upravlencev (дата обращения: 13.04.2024).
66. Пригожин А.И. Управленческие идеи. Вы какое положение на рынке хотите занять? Как для этого должна измениться Ваша организация? – М.: Ленанд, 2015. – 480 с.
67. Вумек Д.П., Джонс Д.Т. Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. – М.: Альпина Паблишер, 2013. – 470 с.
68. Halpin J.F. Zero defects. A new dimension in quality assurance. – NY: McGraw-Hill Book Co., 1966. – 228 p.
69. Crosby Ph.B. Cutting the cost of quality: the defect prevention workbook for managers. – Boston: Industrial Education Institute, 1967. – 242 p.
70. Конарева Л.А. Качество без слез и без потерь // Век качества. – 2012. – № 3. – С. 84–88.
71. Аллен Э. Типичные ошибки проектирования. – СПб.: Питер, 2003. – 224 с.
72. Тэлмес М., Хсих Ю. Наука отладки. – М.: КУДИЦ-Образ, 2003. – 556 с.
73. Лелек Т., Скит Дж. Software: ошибки и компромиссы при разработке ПО. – СПб.: Питер, 2023. – 464 с.
74. Беляков Г.П., Анищенко Ю.А., Сафронов М.В. Риски космических проектов. Анализ неудачных космических запусков // Вестник СибГАУ. – 2014. – № 5 (57). – С. 208–215.
75. Соловьев С.В. Нештатные ситуации в космической технике и принципы их парирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2021. – Т. 2. – С. 97–103.
76. Кобелев А.М. и др. Анализ нештатных ситуаций на объектах наземной космической инфраструктуры космодромов Байконур и Восточный за период 2011–2020 гг. // Техносферная безопасность. – 2021. – № 3 (32). – С. 110–119.
77. Яровитчук А., Стебалина А. Ошибки мировой космонавтики. – М.: АСТ, 2024. – 352 с.
78. Глазунов Ю.Т., Сидоров К.Р. Целеполагание, целедостижение и волевая регуляция // Сибирский психологический журнал. – 2017. – № 64. – С. 6–23.
79. Глазунов Ю.Т. Моделирование целеустремленности. – М.; Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований, 2017. – 360 с.
80. Stevens G., Burley J. 3000 Raw Ideas = 1 Commercial Success! // Research Technology Management. – 1997. – № 3 (40) – P. 16–27. DOI: 10.1080/08956308.1997.11671126
81. Подкатилин А.В. Повышение эффективности проектов: программа курса по направлению «Менеджмент» (24 час). – М.: АМИР, 2014. – 12 с.
82. Лихолетов В.В., Шмаков Б.В. ТРИЗ как инструмент проектной деятельности // Наука ЮУрГУ: материалы 68 научной конференции. Секция экономики, управления и права. – Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2016. – С. 475–483.
83. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Современное радио, 1979. – 175 с.
84. Управление рисками космических проектов / Г.П. Беляков, А.Ю. Анищенко, А.В. Анкудинов, М.В. Сафронов. – Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева, 2017. – 181 с.
85. Цисарский А.Д. Разработка механизмов и инструментария проектного менеджмента при создании ракетно-космической техники: автореф. дис...д-ра экон. наук. – М., 2018. – 34 с.
86. Сафронов М.В. Инструменты управления рисками космических проектов: автореф. дис...канд. экон. наук. – Красноярск, 2019. – 25 с.

87. Альтшуллер Г.С. Типичные ошибки в изобретательской деятельности. URL: <https://www.altshuller.ru/engineering/engineering13.asp> (дата обращения: 13.04.2024).
88. Хоменко Н.Н. Решение проблем с позиций ОТСМ-ТРИЗ. URL: <http://otsm-triz.org> (дата обращения: 13.04.2024).
89. Поиск новых идей: от озарения к технологии / Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И. Филатов. – Кишинев: Картя Молдовеняскэ, 1989. – 381 с.
90. Певзнер Л. ТРИЗ для «чайников» – 5. Типовые ошибки в развитии технических систем. – М.: Издательские решения, 2020. – 161 с.
91. Злотин Б.Л., Зусман А.В. Методика прогнозирования чрезвычайных ситуаций, вредных и нежелательных явлений. – Кишинев: МНТЦ «Прогресс», 1991. URL: <http://metodolog.ru/00891/00891.html> (дата обращения: 13.04.2024).
92. New tools for failure and risk analysis / S., Kaplan S. Visnepolschi, B. Zlotin, A. Zusman // Anticipatory Failure Determination (TM) (AFD(TM) and the Theory of scenario Structuring. URL: https://openlibrary.org/books/OL12296839M/New_Tools_for_Failure_and_Risk_Analysis_Anticipatory_Failure_Determination%28TM%29_%28AFD%28TM%29_and_the_Theo (дата обращения: 13.04.2024).
93. Байtimiрова Г.Ф. Диверсионный анализ как средство оценки надежности программных продуктов и проектов // Молодой ученый. – 2014. – № 21 (80). – С. 11–13.
94. Бармина Е.И., Бушуев Р.Н. Применение метода «диверсионного анализа» // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2014. – № 11-2. – С. 215–217.
95. Никитин В. и др. Инженерная онтология. Инженерия как странствие. – Екатеринбург: Форжект, 2013. – 230 с.
96. Блох А. Закон Мерфи. – Минск: Попурри, 2005. – 224 с.
97. Эзри Г.К. Ошибка как философско-антропологическая проблема // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – Вып. 1–2 (76). – С. 152–157.
98. Зимбули А.Е. Ошибка: этические аспекты // Социальные нормы и практики. – 2022. – № 2 (4). – С. 25–37.

Поступила: 28.01.2024

Принята: 10.05.2024

Опубликована: 30.06.2024

UDC: 165+37+62

DOI 10.54835/18102883_2024_35_15

SIGNIFICANCE OF ERROR THEORIES FOR ENGINEERING AND DEVELOPMENT OF DOMESTIC ENGINEERING EDUCATION

Valery V. Likholetov,
Dr. Sc., Cand. Sc., Professor,
likholetov@yandex.ru

South Ural State University (NRU),
76, Lenin avenue, Chelyabinsk, 454080, Russian Federation

Abstract. The author has made an attempt to analyze conceptual developments on theories of errors to identify their nature, as well as to prevention during the creation, operation and disposal of objects of «second» nature. The problem is relevant due to the increase in risks of a complex (not only technogenic) nature, which determines the high importance of the social responsibility of representatives of the engineering field for the consequences of professional activities. **Aim.** To review developments in error theories from the standpoint of their significance for the field of engineering and the development of domestic engineering education. **Novelty.** A systemic, interdisciplinary and historical analysis of many sources made it possible to better understand the special role of errors in human life and to identify the main reasons for their occurrence at different phases of the life cycle of technical systems. The complex (biosocial, cognitive and organizational-managerial) nature of human errors is revealed, and the exceptional importance of their prevention in the early stages of creating technical objects, especially during design, is emphasized. It is concluded that it is necessary to master the fundamentals of error theories when training future engineers. **Methodology and research methods.** We used system-dialectical, interdisciplinary, historical, task-based and activity-based approaches. The paper considers the role of errors and the relevance of theories about them for engineering practice and engineering education in the light of the complete life cycle of systems. We relied on the tools of the theory of inventive problem solving and the theory of effective solutions: the ideal final result, formulation and resolution of contradictions, resource analysis, analysis of the compliance of designed objects with the laws of development of technical systems, methods of «problem reversal» and «diversionary analysis». **Results.** A review of developments indicates the pronounced social-cognitive nature of errors and the importance of their prevention at all levels, especially at the highest levels, of managing the activities of organizations (enterprises). Experience in using the tools of the theory of inventive problem solving and techniques that help minimize errors when implementing projects in Russia and abroad allows us to talk about it as an important component of future praxeology as a theory of effective activity in terms of thinking management.

Keywords: activity, engineering, engineering education, thought activity, praxeology, error, social responsibility of future engineers, theory of inventive problem solving, theories of errors

REFERENCES

1. Artyukhovich Yu.V. The value meaning of engineering education. *Context and reflection: philosophy about the world and man*, 2015, no. 1–2, pp. 9–23. (In Russ.)
2. Martynov V.G., Sheinbaum V.S. Responsibility is a key competency of an engineer of the 21st century. *Higher education in Russia*, 2022, vol. 31, no. 2, pp. 107–118. (In Russ.)
3. Selivanov F.A. *Search for wrong and right*. Tyumen, Tyumen State University Publ. House, 2003. 195 p. (In Russ.)
4. Safin A.M. *Error as a social phenomenon*. Cand. Diss. Abstract. Kazan, 2014. 24 p. (In Russ.)
5. Stetsenko E.V. *Man is a mistake of nature*. (In Russ.) Available at: <https://proza.ru/2023/12/25/1418> (accessed: 13 April 2024).
6. *“Theories”: man as a mistake. Philosophy of Alexandr Kozhev*. (In Russ.) Available at: <https://concepture.club/post/obrazovanie/kozhev> (accessed: 13 April 2024).
7. Lin Yutang. *Chinese: my country and my people*. Moscow, Eastern literature Publ., 2010. 335 p. (In Russ.)
8. Strelkov Yu.K. *Engineering and professional psychology*. Moscow, Vysshaya Shkola, Academia Publ., 2001. 358 p. (In Russ.)
9. Bergson A. *Creative evolution*. Moscow, Terra-Book Club Publ., 2001. 384 p. (In Russ.)
10. Kanke V.A. *The ethics of responsibility: a moral theory for the future*. Moscow, Logos Publ., 2003. 400 p. (In Russ.)
11. Naichenko M.V. Operator errors when interacting with military equipment. *Military Thought*, 2023, no. 5, pp. 96–103. (In Russ.)

12. Balashov L.E. *Errors and distortions of categorical thinking*. Moscow, ACADEMIA Publ., 2002. 140 p. (In Russ.)
13. Teterleva E.V., Popova Yu.K. The concept of error in the context of various scientific disciplines. *Problems of Romano-Germanic philology, pedagogy and methods of teaching foreign languages*. Perm, PGPU Publ., 2010. pp. 36–40. (In Russ.)
14. Pekar E.V., Sokolskaya M.V. History of the study of error as a unit of psychological analysis of professional activity. *Bulletin of Moscow State Pedagogical University. Series: Pedagogy and psychology*, 2021, no. 4 (58), pp. 180–202. (In Russ.)
15. Weber M.M. *Conditions for railway traffic safety. Essay on Baron M.M. von Weber*. Moscow, V.Ya. Barbey Publ., 1880. 149 p. (In Russ.)
16. Richter I.I. *Railway psychology: materials on strategy and tactics of railways*. St. Petersburg, Br. Panteleevs Publ., 1896. 246 p. (In Russ.)
17. Engelmeyer P.K. About machine design. Psychological analysis. *Technical education*, 1899, no. 3, pp. 44–65. (In Russ.)
18. Brizon P. *History of labor and workers*. St. Petersburg, State Publ. House, 1921, 447 p. (In Russ.)
19. Reason J. *Human Error*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990. 302 p.
20. Yurtaeva T.S. Theory of errors and paralogisms. *Rhetoric. Semiotics. Linguistics: collection. Articles for the 70th anniversary of prof. A.A. Volkov*. Moscow, Dobrosvet Publ., 2016. pp. 86–98. (In Russ.)
21. Novitskaya I.V., Vakalova A.E. Theory of error in the light of different approaches. *Young scientist*, 2016, no. 26, pp. 788–794. (In Russ.)
22. Maryanovich A.T. *Erratology or how to avoid the most unpleasant mistakes when preparing a dissertation*. Moscow, University Book Publ., 1999. 164 p. (In Russ.)
23. Von Mises L. *Human action: a treatise of economics*. Yale, Yale University Press, 1949. 906 p.
24. Kotarbinsky T. *Treatise on good work*. Moscow, Economics Publ., 1975. 271 p.
25. Slutsky E. Study before the problem of the future of formal-praxeological ambushes of the economy. *Academician. Sci. Ki'ev*, 1926, vol. 4, pp. 1–11. (In Russ.)
26. Pavlovich A.A. *The concept of philosophical praxeology in social philosophy*. Dr. Diss. Abstract. Perm, 2000. 43 p. (In Russ.)
27. Semchenko E.E. *Praxeological education*. Moscow, Mir nauki Publ., 2015. 82 p. (In Russ.)
28. Raven J., Yarygin O.N., Korostelev A.A. Competenceology: from praxeology to socio-cybernetics. *Azimuth of scientific research: pedagogy and psychology*, 2017, vol. 6, no. 1(18), pp. 167–175. (In Russ.)
29. Devyatlovsky D.N. *Formation and development of praxeological culture of students at a technical university*. Dr. Diss. Abstract. Kemerovo, 2021. 36 p. (In Russ.)
30. Likholeto V.V. Suitability of TRIZ tools for developing the skills of engineers of the future. *Engineering education*, 2020, Iss. 27, pp. 6–26. (In Russ.)
31. Heinrich H.W. *Industrial accident prevention: a scientific approach*. NY, McGraw-Hill Book Company, 1931. 480 p.
32. Sheinin O.B. *Some questions in the history of the theory of errors*. Cand. Diss. Abstract. Moscow, 1967. 11 p. (In Russ.)
33. Sheinin O.B. *History of error theory*. Berlin, NG Verl., 2007. 176 p. (In Russ.)
34. Lashchenko M.N. *Accidents of metal structures of buildings and structures*. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1969. 184 p. (In Russ.)
35. Kodnir D.S., Parakhonsky O.I., Danilchenko A.I. *Typical design mistakes*. Kuibyshev, KAI Printing House, 1971. 61 p. (In Russ.)
36. Tishchenko A.A., Yaropolov V.I. *Modeling in ensuring space flight safety*. Moscow, Mechanical Engineering Publ., 1981. 191 p.
37. Rabotnikov A.I., Mikhailov A.A., Kovanev B.M., Mosyak V.I. *Prevention of deformations and accidents of buildings and structures*. Kyiv, Budivelnik Publ., 1984. 120 p. (In Russ.)
38. Taylor J. *Introduction to the theory of errors*. Moscow, Mir Publ., 1985. 272 p. (In Russ.)
39. Beregovoy G.T., Yaropolov V.I., Baranetsky I.I. *Handbook on space flight safety*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1989. 336 p. (In Russ.)
40. Kondrashikhin V.T. *Theory of errors and its application to navigation problems*. Moscow, Transport Publ., 1969. 256 p.
41. Kotik M.A., Emelyanov A.M. *Control errors. Psychological reasons: automated analysis method*. Tallinn, Valgus Publ., 1985. 391 p. (In Russ.)
42. Nosov N.A. *Pilot errors: psychological reasons*. Moscow, Transport Publ., 1990. 64 p. (In Russ.)
43. Ponomarenko V.A., Zavalova N.D. *Aviation psychology*. Moscow, Institute of Aviation and Space Medicine Publ., 1992. 200 p. (In Russ.)
44. Kamanin N.P. *Hidden space*. Moscow, Infotext-IF Publ., 1997. 400 p. (In Russ.)
45. Bannykh N.O. *Design of the process of professional training of operators for activities in emergency situations*. Cand. Diss. Abstract. Moscow, 1985. 17 p. (In Russ.)
46. Evstigneev D.A., Karnaukhov V.A. *Aviation psychology for air traffic controllers*. Ulyanovsk, UVAU GA Publ. house, 2005. 137 p. (In Russ.)

47. Ellis S., Gerighty T. *English for aviation for pilots and air traffic controllers*. Oxford, Oxford University Press, 2008. 96 p.
48. Shchetinina N.A. Typical mistakes of pilots when perceiving civil aviation radio messages. *Young scientist*, 2012, no. 2(37), pp. 192–195. (In Russ.)
49. Dyachkov D.V., Zolotarev O.V. Analysis of aircraft accident statistics based on a study of many factors. *Physical and Technical Informatics – CPT2020. Proceedings of the 8th International Conference. P. 2*. Nizhny Novgorod, Research Center for Physical and Technical Informatics Publ., 2020. Vol. 2, pp. 289–320. (In Russ.)
50. Harutyunyan R.V., Bolshov L.A., Vasiliev A.D., Strizhov V.F. Physical models of severe accidents at nuclear power plants. Ed. by N.N. Ponomarev-Stepnoy. Moscow, Nauka Publ., 1992. 228 p. (In Russ.)
51. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 1*. Eds. K.E. Kochetkova, V.A. Kotlyarevsky, A.V. Zabegaeva. Moscow, ASV Publ. House, 1995. 320 p. (In Russ.)
52. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 2*. Eds. K.E. Kochetkova, V.A. Kotlyarevsky, A.V. Zabegaeva. Moscow, ASV Publ. house, 1996. 384 p. (In Russ.)
53. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 3*. Eds. V.A. Kotlyarevsky, A.V. Zabegaeva. Moscow, ASV Publ. house, 1998. 416 p. (In Russ.)
54. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 4*. Eds. V.A. Kotlyarevsky, A.V. Zabegaeva. Moscow, ASV Publ. house, 1998. 208 p. (In Russ.)
55. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 5*. eds. V.A. Kotlyarevsky, A.V. Zabegaeva. Moscow, ASV Publ. house, 2001. 416 p. (In Russ.)
56. Ledenev V.V., Skrylev V.I. *Accident prevention*. Moscow, ASV Publ. House, 2002. 240 p. (In Russ.)
57. *Accidents and disasters. Prevention and mitigation of consequences. B. 6*. Ed. by V.A. Kotlyarevsky. Moscow, ASV Publ. house, 2003. 408 p. (In Russ.)
58. Dobromyslov A.N. *Errors in the design of building structures*. Moscow, ASV Publ. house, 2008. 208 p. (In Russ.)
59. Minenko A.A. *Methodology for a comprehensive analysis of the causes of accidents at construction sites at various phases of the life cycle*. Rostov-on-Don, RGSU Publ., 2010. 53 p. (In Russ.)
60. Ledenev V.V. *Construction accidents. Vol. 1 Causes of accidents in buildings and structures*. Tambov, TSTU Publ., 2014. 210 p. (In Russ.)
61. Galeev A.D., Ponikarov S.I. *Analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities*. Kazan, KNRTU Publ. House, 2017. 152 p. (In Russ.)
62. Permyakov V.N., Sivkov Yu.V., Martynovich V.L., Khairullina L.B. *Analysis of the risk of accidents at hazardous production facilities storing oil and petroleum products*. Tyumen, State Agrarian University of the Northern Trans-Urals Publ., 2022. 120 p. (In Russ.)
63. Rasmussen J. *Information processing and human-machine interaction: an approach to cognitive engineering*. NY, Elsevier Science Ltd, 1986. 215 p.
64. Simon H.A. Rationality as process and as product of thought. Richard T. Ely Lecture. *American Economic Review*, 1978, vol. 68, no. 2, pp. 1–16.
65. Vasilishina T. 10 main mistakes of managers. *HRMagazine*, 2013, no. 1. (In Russ.) Available at: http://www.hrm.ua/article/glavnih_oshibok_upravlencev (accessed: 13 April 2024).
66. Prigozhin A.I. *Management ideas. What position in the market do you want to occupy? How should your organization change to achieve this?* Moscow, Lenand Publ., 2015. 480 p. (In Russ.)
67. Womack D.P., Jones D.T. *Lean. How to get rid of losses and achieve prosperity for your company*. Moscow, Alpina Publ., 2013. 470 p. (In Russ.)
68. Halpin J.F. *Zero defects. A new dimension in quality assurance*. NY, McGraw-Hill Book Co., 1966. 228 p.
69. Crosby Ph.B. *Cutting the cost of quality: the defect prevention workbook for managers*. Boston, Industrial Education Institute, 1967. 242 p.
70. Konareva L.A. Quality without tears and without losses. *Century of Quality*, 2012, no. 3, pp. 84–88. (In Russ.)
71. Allen E. *Typical design errors*. St. Petersburg, Piter Publ., 2003. 224 p. (In Russ.)
72. Telles M., Hsieh Y. *The science of debugging*. Moscow, KUDITS-Obraz Publ., 2003. 556 p. (In Russ.)
73. Lelek T., Skeete J. *Software: mistakes and compromises in software development*. St. Petersburg, Piter Publ., 2023. 464 p. (In Russ.)
74. Belyakov G.P., Anishchenko Yu.A., Safronov M.V. Risks of space projects. Analysis of unsuccessful space launches. *Bulletin of SibSAU*, 2014, no. 5 (57), pp. 208–215. (In Russ.)
75. Soloviev S.V. Emergency situations in space technology and principles for countering them. *Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences*, 2021, vol. 2, pp. 97–103. (In Russ.)
76. Kobelev A.M. Analysis of emergency situations at ground-based space infrastructure facilities at the Baikonur and Vostochny cosmodromes for the period 2011–2020. *Technosphere safety*, 2021, no. 3 (32), pp. 110–119. (In Russ.)
77. Yarovitchuk A., Stebalina A. *Mistakes of world astronautics*. Moscow, AST Publ., 2024. 352 p. (In Russ.)

78. Glazunov Yu.T., Sidorov K.R. Goal setting, goal achievement and volitional regulation. *Siberian psychological journal*, 2017, no. 64, pp. 6–23. (In Russ.)
79. Glazunov Yu.T. *Modeling purposefulness*. Moscow, Izhevsk, Institute for Computer Research Publ. house, 2017. 360 p. (In Russ.)
80. Stevens G., Burley J. 3000 Raw Ideas = 1 Commercial Success! *Research Technology Management*, 1997, no. 3 (40), pp. 16–27. DOI: 10.1080/08956308.1997.11671126
81. Podkatilin A.V. *Increasing the effectiveness of projects: course program in the direction of "Management" (24 hours)*. Moscow, AMiR Publ., 2014. 12 p.
82. Likholetov V.V., Shmakov B.V. TRIZ as a tool for project activities. *Science of SUSU. Materials of the 68th scientific conference. Section of Economics, Management and Law*. Chelyabinsk, SUSU Center Publ. house, 2016. pp. 475–483. (In Russ.)
83. Altshuller G.S. *Creativity as an exact science*. Moscow, Modern radio Publ., 1979. 175 p. (In Russ.)
84. Belyakov G.P., Anishchenko A.Yu., Ankudinov A.V., Safronov M.V. *Risk management of space projects*. Krasnoyarsk, Siberian State University named after. M.F. Reshetnev Publ., 2017. 181 p. (In Russ.)
85. Tsarsky A.D. *Development of mechanisms and tools for project management in the creation of rocket and space technology*. Dr. Diss. Abstract. Moscow, 2018. 34 p. (In Russ.)
86. Safronov M.V. *Tools for risk management of space projects*. Cand. Diss. Abstract. Krasnoyarsk, 2019. 25 p. (In Russ.)
87. Altshuller G.S. *Typical mistakes in inventive activity*. (In Russ.) Available at: <https://www.altshuller.ru/engineering/engineering13.asp> (accessed: 13 April 2024).
88. Khomenko N.N. *Solving problems from the perspective of OTSM-TRIZ*. (In Russ.) Available at: <http://otsm-triz.org> (accessed: 13 April 2024).
89. Altshuller G.S., Zlotin B.L., Zusman A.V., Filatov V.I. *Search for new ideas: from insight to technology*. Chisinau, Cartea Moldovenasca Publ., 1989. 381 p. (In Russ.)
90. Pevzner L. *TRIZ for "dummies" – 5. Typical errors in the development of technical systems*. Moscow, Publishing solutions Print, 2020. 161 p. (In Russ.)
91. Zlotin B.L., Zusman A.V. *Methodology for forecasting emergency situations, harmful and undesirable phenomena*. Chisinau, ISTC "Progress" Publ., 1991. (In Russ.) Available at: <http://metodolog.ru/00891/00891.html> (accessed: 13 April 2024).
92. Kaplan S., Visnepolschi S., Zlotin B., Zusman A. *New Tools for Failure and Risk Analysis/Anticipatory Failure Determination(TM) (AFD(TM) and the Theory of scenario Structuring*. Available at: https://openlibrary.org/books/OL12296839M/New_Tools_for_Failure_and_Risk_Analysis_Anticipatory_Failure_Determination%28TM%29_%28AFD%28TM%29_and_the_Theo (accessed 13 April 2024).
93. Baitimirova G.F. Diversion analysis as a means of assessing the reliability of software products and projects. *Young scientist*, 2014, no. 21 (80), pp. 11–13. (In Russ.)
94. Barmina E.I., Bushuev R.N. Application of the method of "sabotage analysis". *Current problems of the humanities and natural sciences*, 2014, no. 11-2, pp. 215–217. (In Russ.)
95. Nikitin V. *Engineering ontology. Engineering as a journey*. Ekaterinburg, Forject, 2013. 230 p. (In Russ.)
96. Bloch A. *Murphy's Law*. Minsk, Potpourri Publ., 2005. 224 p. (In Russ.)
97. Ezri G.K. Error as a philosophical and anthropological problem. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 2023, Iss. 1–2 (76), pp. 152–157. (In Russ.)
98. Zimbuli A.E. Error: ethical aspects. *Social norms and practices*, 2022, no. 2 (4), pp. 25–37. (In Russ.)

Received: 28.01.2024

Revised: 10.05.2024

Accepted: 30.06.2024