

ИНЖЕНЕРНОЕ МЫШЛЕНИЕ: МАТЕМАТИЧЕСКИЙ И ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ КОНТЕКСТ

Аннотация. Рассматриваются вызовы, возникающие в инженерном мышлении, в связи с переходом к шестому технологическому укладу. Делается акцент на необходимость изменений в научно-образовательной политике с учетом новых технологических задач.

Ключевые слова: инженерная деятельность, технологический уклад; национальная технологическая инициатива; цифровая экономика, информационные технологии.

«Труд создал из обезьяны человека» – это утверждение, сделанное около 200 лет назад Ф. Энгельсом, во многом относится и к пониманию принципов формирования инженерного мышления. Принимая во внимание современные эволюционные теории о роли генетических мутаций, влияния климата, образа жизни и питания на формирование сознания Homo Sapiens, следует признать, что именно целенаправленная практико-ориентированная деятельность, лежащая в основе и инженерного творчества, повлияла на развитие человеческого мозга, на формирование различных форм (абстрактного, логического, действенного и предметного) мышления, выделила эту форму деятельности в качестве особой и жизненно необходимой для человека. Разумеется, принципы и формы инженерного труда в те далекие годы и в настоящее время имеют определенные отличия. В настоящее время под инженерной деятельностью понимают процесс трансформации научных знаний и производственного опыта в технические принципы, которые находят свое практическое применение в процессе создания технических устройств и технологий. По сути, современный инженер – это ученый, синтезирующий в своём багаже научный и практический опыт, и нацеленный в своей преимущественно творческой деятельности на превращение природных факторов в социально значимые объекты материального производства.

Наиболее важным фактором, влияющим на результативность инженерного труда, является научный фундамент всех принципов и методов, определяющих алгоритмы данной деятельности. Не случайно, понятие прогресса, которое, как известно, происходит

от лат. *progressus* – движение вперед, успех – и означает направленное от низшего к высшему развитие, характеризуемое повышением уровня и способа организации, появляется в Эпоху Просвещения (Сен-Пьер, Тюрго, Кондорсе), главной характеристикой которой стало зарождение научного мировоззрения и появление современных подходов в математическом (Декарт, Паскаль, Ньютон, Лейбниц и т.д.) и естественнонаучном знании (Галилей, Ньютон, Бернулли и т.д.). Появившиеся успехи не только в научном описании и понимании окружающего мира, но и в создании способов и методов его преобразовании на благо человека, создали почву для формирования идей общественного развития. В настоящее время существует достаточно много индикаторов материального и, тесно с ним связанного, социального прогресса – Валовой внутренний продукт или ВВП (англ. GDP), Индекс качества жизни (*quality-of-life index*), Индекс человеческого развития (ИЧР), Экономический рост, Индекс экономической свободы, Индекс демократии, Коэффициент Джини и т.д., среди которых, однако, далеко не все являются высоко верифицируемыми с научной точки зрения, а некоторые носят достаточно субъективный характер. Тем не менее, можно достаточно просто связать объективные экономические и технологические показатели с субъективно значимыми социальными, для доказательства того, что прогресс и научно-технологическое развитие связаны друг с другом сильной положительной корреляцией.

За последние 200 лет в развитии общества произошли глобальные перемены, связанные с несколькими этапами индустриальных революций. Например, при увеличении в семь раз населения планеты за эти 200 лет произошло сокращение количества людей, пребывающих в состоянии крайней бедности с 90% до 10%, а показатель уровня детской смертности (доля детей, умерших в возрасте до пяти лет) с 43,3% в начале XIX в. снизился к 2015 г. до 4,3% [1]. Очевидно, что добиться этого удалось, в первую очередь, за счет технологического прогресса и повышения уровня образования. Если в 1800-м г. грамотным был лишь один из десяти человек старше 15 лет, то сегодня – 85% всего мирового населения. Конечно, субъективная оценка людьми своего индивидуального уровня качества жизни привязана к показателям текущего дня и зачастую пессимистична по отношению к прогрессу и развитию, однако, учет глобальных тенденций говорит о том, что «прогресс побеждает зло».

Рассмотрим в связи с анализом инженерного труда те основания, которые свидетельствуют о прогрессе в научно-технической сфере. Очень часто в качестве основного показателя научного прогресса

принимается уровень инноваций, однако, приступая к подобным оценкам, следует заранее договориться о таких понятиях как «инновация» и «инновационная технология», для объективного отбора соответствующих расчетных данных. По сути, инновация – это внедрённое новшество, которое является конечным результатом интеллектуальной деятельности человека и обеспечивает качественный рост эффективности процессов или продукции, востребованной рынком. Современный этап технологического развития, как известно, имеет несколько определений – 4-я промышленная революция, «кембрийский взрыв технологий», переход к 6-му технологическому укладу и т.д. – и характеризуется, по мнению Рэя Курцвейла и ряда других футурологов, экспоненциальным ускорением технической эволюции, следует, однако, оценивать не по числу инноваций, которое действительно громадно, а по числу тех возможностей, которые они дают человечеству (Эрик Дрекслер). По мнению Курцвейла, нынешний и ожидаемый прогресс характеризуется тремя факторами – ростом производительности компьютеров, которым по-прежнему управляет закон Мура; взрывным ростом данных и ускорением коммуникаций, связанным с экспоненциальным ростом каналов связи и Интернета – а количество основных трендов определяется разными исследователями по-разному – от двенадцати (К. Келли) до четырех – интернет вещей, геновая биоинженерия, 3D-печать и роботизация (Р. Курцвейл). Суммируя многочисленные мнения по проблематике современного технологического мира и его цифрового будущего, можно сделать вывод, что речь может идти о появлении новой научно-технологической парадигмы, характерной для нового научного знания, революционное формирование которого может произойти в ближайшие годы в связи с повсеместным внедрением информационных технологий и искусственного интеллекта. Формирования данной парадигмы может существенно повлиять и на принципы и методы, лежащие в основе, как инженерной деятельности, так и инженерного мышления.

Новая научно-техническая парадигма, однако, пока не носит характера научной революции, в том смысле, который предписывал им Т.Кун. Причиной этому является математическая основа современных информационных технологий, которая, несмотря на встречное влияние данных технологий на быстроту и эффективность решения возникающих задач, пока развивается преимущественно на традиционных принципах. Насущными задачами математики в современной инженерной, преимущественно цифровой, деятельности становятся оптимизация множества математических операций, связанных

с передачей и обработкой сигналов, представленных в виде «слов» помехоустойчивого кода, решение математических задач по алгоритмизации кодирования и декодирования размерности 24 тысячи (при переходе к более современным стандартам передачи данных 5G) и новыми решениями в сфере обработки больших массивов данных (big data). В свою очередь, решение большинства естественнонаучных, материаловедческих и конструктивных задач также связан с моделированием и анализом в процессе цифрового эксперимента, программное обеспечение которого базируется на современных разработках в области дискретной математики. В настоящее время рост технологий и, соответствующее снижение их стоимости, стали намного опережать скорость развития систем их программного управления, поэтому развитие именно программного обеспечения, поиск новых алгоритмов решения задач с использованием возможностей нейронных сетей и искусственного интеллекта – одно из главных направлений на пути прогресса инженерной деятельности. В основе подобных решений должно лежать математическое обоснование, поскольку именно математика связывает все современные разделы научного знания – телекоммуникации, биоинформатику, экономику, лингвистику и т.д. – через алгоритмы обработки данных, поиск однотипных с математической точки зрения задач и решений, ускорение и оптимизацию всевозможных вычислительных процедур. Следует заметить, что XX век позволил и самой математике расширить не только сферу применимости, но и свой методологический аппарат, поставив вопрос об абсолютности математической точности (К. Гёдель и А. Тьюринг), а, следовательно, о математических и экспериментальных принципах верификации и фальсификации научного знания (К. Поппер, И. Лакатос и др.), лежащих в основе любой инженерной деятельности. При этом применение компьютерных процедур начинает сказываться и на общепринятой концепции доказательств (например, при доказательстве теорем), так как, компьютер считает быстрее, точнее, надежнее и перебирает большее число вариантов, чем человек.

Инженерная деятельность, направленная на развитие устройств и технологий, в свою очередь, расширяет человеческие возможности в познании окружающего мира, открытии новых явлений и процессов, стимулирует появление новых естественнонаучных теорий с новыми математическими моделями и методами решений. Теория, как правило, опережает практику, поэтому перед инженерами-экспериментаторами всегда стоят вызовы, связанные с обоснованием или фальсификацией многих уже существующих моделей (например,

в физике – теорий суперструн, вейвлетов и т.д.). Применение компьютера должно существенно помочь найти реальное применение и для «абстрактных» на данный момент математических разделов (множества гигантских чисел, неевклидовой геометрии и т.д.). Математика в ближайшем будущем должна дать новый толчок развитию как квантовой физики, так и основанным на ней технологиям квантовых вычислений, квантового компьютера, квантового машинного обучения и т.д., то есть тех технологий, которые могут дать наибольший вклад в ускорение темпов научно-технического прогресса и формирование новых принципов инженерного мышления. Большое будущее при этом открывается в биоинженерии – вплоть до создания новой области – биоматематики, основанной на смеси биологии, генетики, комбинаторики, анализа, геометрии и информатики, а также построения модели человеческого мозга и его когнитивных функций. Совершенствование математических методов описания сложных систем должно дать существенный толчок и развитию жизненно важных для ближайшего будущего технологий – освоению космического пространства, беспилотным системам управления, предсказанию и управлению погодой и климатом, способствовать прогрессу и в социальных сферах – политике, искусстве, не говоря уже об экономике и социологии. На этом пути, как утверждают специалисты, должна появиться качественная, концептуальная теория формирования динамических конфигураций в хаотически сложных системах [2].

Очевидно, что решение подобных задач должно быть подкреплено формированием и реализацией определенных стратегий и в научно-образовательной сфере. В этой связи следует обратить внимание на STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics – естествознание, технологии, инженерия, математика) – термин, часто используемый в последнее время в ряде стран (Китай, Канада, США, Израиль, Австралия, Турция) для определения образовательной методологии с целью повышения конкурентоспособности в области развития науки и технологий. STEM также трактуют как изучение и внедрение инновационных технологий на базе широкого применения знаний в области естествознания. По сути STEM – это синтез науки, инженерной деятельности и искусства, который должен способствовать развитию высокого уровня креативности и технологий, причем не только в технических направлениях, но и творческих (музыкальные средства мультимедиа, промышленный дизайн, архитектура, индустриальная эстетика). Многие ведущие университеты мира сейчас позиционируют себя в качестве проводников STEM методологии, подкрепляя свои предложения прогнозами на рынке труда – занятость в сфере STEM,

по данным Министерства торговли США, росла за последнее время в 2 раза быстрее, чем в среднем в других профессиях. Министерство труда США отмечает, что STEM образование играет ключевую роль в устойчивом росте экономики страны и определило 14 секторов (информационные технологии, авиакосмическая промышленность, биотехнологии, энергетика, здравоохранение и т.д.), в которых развитие или трансформация зависят от технологий и инноваций, требуют новых навыков от работников в сфере STEM-образования. По данным исследований всего 1% привлеченных специалистов в этой сфере увеличивает ВВП страны на \$ 50 млрд. А спрос на STEM-специалистов уже сейчас превышает предложение в два раза.

В Российской Федерации проблеме подготовки высококвалифицированных инженерных кадров в целях ускоренного перехода к современным технологическим укладам также уделялось и уделяется немалое внимание. За последние 10 лет с целью решения подобных задач в России было создано немало институтов (СколТех, АСИ – Агентство стратегических инициатив, Федеральные, Научно-исследовательские и опорные университеты, Кружковое движение и Университеты «20.35»), а также программ развития (НТИ – национальная технологическая инициатива, Стратегия НТР РФ, Национальные проекты «Образование», «Цифровая экономика» и т.д.) [3]. В процессе реализации данных проектов, действительно, происходит переориентация и образовательной политики и стратегии внедрения инноваций (по программам НТИ, Фонда содействия инновациям и т.д.), однако негативной тенденцией, на взгляд автора, является реализация данных программ в отрыве от широкой поддержки фундаментального естественнонаучного и математического образования. В большинстве ВУЗов наблюдается тенденция сокращения учебной нагрузки по естественнонаучным и математическим дисциплинам, переход на более доступные, но менее эффективные дистанционные и цифровые формы обучения, сопровождаемые сокращением высококвалифицированных преподавательских кадров, ликвидацией или сменой формата соответствующих кафедр. Сделанный в рамках внедрения последних образовательных стандартов акцент на практико-ориентированное обучение, безусловно, необходим для подготовки квалифицированного современного инженера. Однако, зачастую увеличение доли практической формы обучения не подкрепляется укреплением материальной базы учебных заведений, а кроме того, ведет к сокращению доли фундаментального теоретического образования, большинство дисциплин которого зачастую даже не попадают в инвариантную часть образова-

тельных программ. Пренебрежение фундаментальной подготовкой будущих инженеров снижает не только уровень их профессиональной подготовки, но и эффективность их дальнейшей транспрофилизации, связанной с неизбежной изменением форм будущей трудовой деятельности.

Разумеется, время ставит перед инженерным образованием новые вызовы. АСИ предлагает Атлас новых профессий, на которые должен ориентироваться абитуриент, а футурологи пугают исчезновением в ближайшие несколько десятилетий большого числа весьма распространенных в настоящее время профессий (водителей, бухгалтеров и т.д.). Высшее образование, фактически перешедшее за последние годы в сферу услуг, вынуждено ориентироваться не только на потребности государства и экономики, но и на интересы абитуриентов. Стараясь идти в ногу со временем, оно должно предлагать новые образовательные программы в сфере робототехники, технологий аддитивного и цифрового производства – интернета вещей, искусственного интеллекта, больших данных – и т.д. Вместе с тем, необходимо наряду с сохранением фундаментальной составляющей обновлять и содержание дисциплин естественнонаучного и математического направления. Для современного инженера необходимо понимание научных основ информационных, нано- и квантовых технологий, процессов получения и преобразования энергии, синтеза новых материалов. Для формирования основ инженерного мышления следует сделать акцент на математическом образовании в сфере математического моделирования, дискретной математике и вычислительных процессах [4]. При неизбежном росте количества задач, требующих больших вычислений (эффект «комбинаторного взрыва») большое значение приобретают методы комбинаторики, теорий алгоритмов, автоматов и других разделов современной дискретной математики, позволяющих справиться с возникающими вычислительными проблемами. Целесообразно в этой связи уже на этапе школьной подготовки осуществлять пропедевтику изучения ставших в цифровом мире общеобразовательными базовых понятий: модель, (бинарное) отношение, граф, высказывание, комбинаторная конфигурация, эффективный алгоритм и др. На более высоком уровне образования следует обратить внимание на понятия математической и информационной моделей, математического языка и алгоритма; логико-математические, вероятностно-статистические, системно-структурные, кибернетические, теоретико-информационные идеи и методы, ставшие неотъемлемой частью ма-

тематических основ инновационного развития современного инженерного мышления.

Разумеется, у сторонников естественнонаучного и технологического развития всегда есть оппоненты, обращающие внимание на негативные психологические, социальные и политические последствия и требующие их более глубокого философского осмысления. Очевидно, что эти мнения тоже необходимы во избежание негативных необратимых последствий огульного внедрения «прогрессивных» инноваций. Однако, общество развивается, в основном, по объективным законам, в русле которых лежит и теория прогресса, обусловленная внедрением новых технологий, созданных инженерным трудом, использующим последние достижения в сфере естественных и математических наук. Подводя выводы, приведем две цитаты: «если нынешнее положение вещей не устраивает, необходим новый способ мышления или хотя бы способность посмотреть на проблему с другой точки зрения» (А. Эйнштейн) и «мысль только тогда идет в правильном направлении, когда результатом её работы является практическая польза» (Л. Больцман). Это и есть, по мнению автора, основные положения парадигмы развития инженерной деятельности и формирования инновационного инженерного мышления.

Библиографический список

1. Max Roser. Our World of Data [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ourworldindata.org>.
2. Будущее науки в XXI веке. Следующие пятьдесят лет / под ред. Дж. Брокмана. – М.: АСТ, 2008. – 255 с.
3. Анахов С.В. Стратегии цифровой экономики и тренды научно-образовательной политики // Новые информационные технологии в образовании и науке. 2018. № 1. С. 93–102.
4. Перминов Е.А., Гаджиев Д.Д., Абдуразаков М.М. Об актуальности фундаментализации математической подготовки студентов педагогических направлений в цифровую эпоху // Образование и наука. 2019. Т. 21, № 5. С. 86–111.