

В.Н. Наконечный, И.В. Лебедева, С.В. Ситник
(Ростовский государственный университет путей сообщения;
e-mail: inwas@mail.ru)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ПРОБЛЕМАМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Предлагается подход к построению математической модели образовательного процесса, по проблемам производственной безопасности.

Ключевые слова: концепция приемлемого риска, производственная безопасность, математическая модель образовательного процесса.

V.N. Nakonechnyj, I.V. Lebedeva, S.V. Sitnik
**MATHEMATICAL MODEL OF EDUCATIONAL PROCESS
ON THE ISSUES INDUSTRIAL SAFETY**

An approach to building a mathematical model of educational process on the issues industrial safety is offered.

Key words: the concept of acceptable risk, industrial safety, mathematical model of the educational process.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 25 апреля 2015 г.

Высокий уровень аварийности, производственного травматизма и преждевременной смертности в других сферах деятельности, связанный с так называемым "человеческим фактором" обусловлен, прежде всего, низкой эффективностью существующей системы образования и обучения специалистов по проблемам техносферной безопасности. В настоящее время в связи с усложнением и появлением принципиально новых технологий, возросшей протяженностью и количеством сетей транспортных и энергетических коммуникаций, беспрецедентного влияния промышленного производства на окружающую среду и человека родилась концепция приемлемого риска. Суть вышеуказанной концепции заключается в обеспечении такого уровня безопасности, который на данном этапе научного и экономического развития государство может обеспечить.

Переход к концепции приемлемого риска открывает новые возможности обеспечения производственной безопасности. При этом традиционные методы анализа, исследования и прогнозирования травмоопасных ситуаций и производственного травматизма дополняют методы, основанные на применении приемлемого риска опасности, системного анализа закономерностей и причинно-следственных связей травмоопасных и аварийных ситуаций, отказов и иных опасных факторов человеко-машинных систем.

Таким образом, последовательность решения задачи обеспечения производственной безопасности в системе "человек-машина-производственная среда" должна включать:

- анализ, прогнозирование, моделирование опасных событий и их характеристик;
- разработку и реализацию методов и средств защиты от порождающих факторов опасных событий и (или) локализации и ликвидации их последствий;
- совершенствование подготовки персонала, в том числе в профильных вузах.

Априорно трудно определить соотношение инвестиций по каждому из этих направлений. Необходим специальный анализ с использованием конкретных данных, условий, передовых технологий.

В современных условиях решать вышеуказанную задачу без автоматизации обработки информации невозможно. Однако автоматизированная обработка информации немыслима без формализации отдельных сторон деятельности, без установления между элементами обстановки количественных зависимостей. Это, в свою очередь, требует широкого применения математического моделирования, которое позволяет не только устанавливать количественные зависимости между элементами обстановки, но и обеспечивать составление компьютерных программ.

С использованием математических моделей связана как возможность более глубокого познания закономерностей управляемого процесса, в том числе и образовательного, так и возможность повышения эффективности профессионального образования через улучшение индивидуализации обучения.

Прежде чем приступать к разработке модели образовательного процесса, необходимо принять во внимание то, что она должна корректно учитывать межпредметный характер компетенций, как следствий усвоения обучаемыми профессионально необходимых сведений (учебной информации). Вследствие этого их формирование должно быть представлено как процесс, который для формирования каждой отдельной компетенции может протекать в течение всего срока обучения и включать реализацию нескольких учебных дисциплин, что существенно усиливает роль междисциплинарных связей и взаимодействия кафедр.

Анализ известных способов определения затрат учебного времени на достижение целей обучения (трудоемкости образовательного процесса) показал, что одним из наиболее перспективных направлений решения этой задачи является математическое моделирование процессов обучения. Математическое моделирование процессов обучения позволяет более точно, по сравнению с эвристическими методами, подойти к вопросу определения значений трудоемкости усвоения студентами учебной информации. Это достигается, во-первых, за счет применения математических соотношений, связывающих цели обучения со временем, в течение которого происходит процесс обучения, а, во-вторых, полнотой учитываемых в модели факторов и правильностью принятых допущений.

Практикой установлено, что среди основных факторов, оказывающих влияние на процесс усвоения знаний, формирования умений и различного уровня владений навыками, выделяются следующие:

- количество учебной информации, предъявляемой обучаемому;
- скорость предъявления учебной информации;
- тип учебной информации и вид занятия;
- формы и методы (технологии) обучения;
- личностные свойства обучаемых, в том числе возрастные и психофизиологические;
- психофизиологическое и эмоциональное состояние обучаемых;
- мотивационная основа обучения;
- вид запоминания информации.

По степени учёта вышеперечисленных факторов существенным преимуществом перед другими математическими моделями обучения обладает экспоненциальная модель, которая является наиболее универсальной и достоверной:

$$Q_i = 1 - \exp\left(-\frac{\tau_i}{T_i(p^*)}\right), \quad (1)$$

где Q_i – относительный уровень усвоения обучаемым учебной информации (степень усвоения) на i -м виде занятий;

τ_i – время, в течение которого происходит процесс усвоения учебной информации на i -м виде занятий, *мин.*;

$T_i(p^*)$ – параметр модели – постоянная временного ресурса, необходимого для усвоения обучаемым учебного материала на i -м виде учебного занятия, обусловливаемый психофизиологическими свойствами обучаемого, выявленными в ходе профотбора, или в процессе обучения, *мин.*;

p^* – коэффициент, характеризующий функциональную зависимость временных затрат (трудоемкости) усвоения учебного материала от характеристик психофизиологических свойств обучаемого.

Зависимость (1) описывает процессы запоминания информации любого вида, от осмысленных текстов до условных чувственно-воспринимаемых объектов, либо процесс тренировки с целью формирования навыка. Она может использоваться, в частности, при оценке числа повторений текста, необходимого для безошибочного его запоминания, при планировании количества тренировок, которые необходимы для достижения определенной скорости и четкости выполнения операции и т.п.

Однако, исследованиями установлено, что с использованием модели (1) можно не только давать описание хода обучения при запоминании (заучивании) информации, но и характеризовать любой процесс усвоения знаний, приобретения умений и овладения навыками. При этом цели обучения задаются требуемой степенью усвоения учебной информации Q_i на заданном уровне обученности.

Величина Q_i , в силу универсальности модели (1) и в зависимости от целей усвоения учебной информации, определяется либо как коэффициент усвоения K_U , либо как коэффициент выполнения K_B .

Учёт факторов, влияющих на процесс обучения, осуществляется за счёт значения параметра модели $T_i(p^*)$. Поэтому, зная значение T_i , можно объективно судить о времени, которое необходимо затратить на усвоение обучаемым какой-либо информации с требуемой степенью Q_i^{mp} .

В настоящее время отсутствуют строгие математические соотношения, позволяющие определять значение параметра T_i в зависимости от различных реальных факторов.

Все они строятся в основном на опытных данных и, как правило, учитывают всего один фактор, влияющий на значение параметра T_i . Поэтому полученные в результате опытов аппроксимационные зависимости для постоянной T_i не позволяют использовать их применительно к учебному процессу в вузе.

В связи с этим возникает необходимость разработки методики определения постоянной T_i с учётом условий, в которых осуществляется процесс обучения в вузе по конкретной дисциплине. При этом определение значений параметра T_i осуществляется либо по результатам однократного восприятия информации, либо по параметрам полного усвоения (числу необходимых повторений, времени полного усвоения и т.п.). Оба способа позволяют получать оценки величины T_i с одинаковой степенью точности и достоверности. Однако второй способ является более трудоемким и требует в реальных условиях больших временных затрат. Поэтому, в рамках учебного процесса в вузе, наиболее пригодным является первый способ. В этой связи, зависимость (1) целесообразно преобразовать с учётом следующих соображений.

Практикой образовательного процесса в вузе установлено, что факторы, влияющие на величину параметра T_i , можно разделить на две группы по степени их влияния на данный параметр. К первой группе факторов, оказывающих значительное влияние, можно отнести: тип учебной информации и связанный с ним вид учебного занятия. Ко второй группе факторов, влияющих незначительно, относятся: количество учебной информации и скорость её предъявления обучаемому, индивидуальные способности, возраст, физическое и эмоциональное состояние обучаемых, вид запоминания информации, формы и методы его проведения, а также мотивационную основу обучения.

Слабая зависимость параметра T_i от количества информации, предъявляемой обучаемому, была доказана С. Кьерстедом, Е. Робинсоном, В. Хероном, С. Дерроу и другими учёными. Они, в результате проведенных исследований, сумели показать, что форма кривой обучения сохраняет свои характерные черты при изменении длины усваиваемого материала в широких пределах. Закон Кьерстеда-Робинсона гласит, что относительный объём материала, выученного в течение соответственных интервалов времени, входящих в общий период обучения, остается практически постоянным при различных длинах изучаемого материала.

Скорость предъявления информации обучаемому и скорость её усвоения в условиях учебного процесса в вузе определяется видом учебного занятия и типом информации.

Если под типом информации понимать её сложность, то, как показывают исследования, при правильно построенном учебном процессе ("от простого – к сложному") скорость обучения остаётся постоянной и не зависит от сложности материала, то есть от типа информации, а зависит только от вида занятия. Это связано с тем, что на одном и том же виде занятия к моменту изучения более сложного материала обучаемый уже накопил необходимый уровень, достаточный для успешной переработки и усвоения более сложной информации. Поэтому можно считать, что значение параметра T_i в условиях учебного процесса в вузе зависит в основном от отдельного вида учебного занятия.

Фактор индивидуальных способностей обучаемых может оказывать сильное влияние на скорость обучения. Однако, рассматривая традиционную систему обучения в вузе, значение данного фактора, как правило, усредняется, а большинство учебных программ рассчитывается на среднеуспевающего обучаемого.

Значения таких факторов, как возраст, физическое и эмоциональное состояние обучаемых, существенно и требует учёта личностных характеристик *психофизиологических свойств (ПФС)* каждого из обучаемых. Учёт этих свойств как факторов, влияющих на организацию учебного процесса находит своё выражение через значение параметра $T_i(p^*)$.

Если задаваться целью обеспечить наибольшую возможную корректность значений T_i , то является обязательным более полно и глубоко изучить содержание переменной p^* . Оно характеризуется системой факторов, возникновение которых обуславливается различными личностными свойствами обучаемых, которые могут оказывать как негативное, так и положительное влияние на изменение параметра T_i или в сторону увеличения, или уменьшения его значений.

Даже отобранные по результатам профессионально-психологического отбора обучаемые в результате различных объективных и субъективных причин могут приобретать или терять профессионально-необходимые качества, в частности, способность к психической познавательной и репродуктивной деятельности.

Однако, помимо воздействия факторов, обусловленных характеристиками ПФС индивида, на эффективность его познавательной деятельности оказывают влияние и такие факторы, как морально-деловые качества, состояние здоровья и уровень начальной (базовой) подготовки, которые выявляются в ходе профессионально-психологического отбора. Немаловажное значение имеет мотивация к профессиональному становлению обучаемого как конкретного специалиста.

На основе вышеизложенного представляется возможным сформировать формальное выражение содержания параметра P^* в следующем виде:

$$P^* = (M; \Phi; \Pi),$$

где $M = \{M_\phi, M_n, M_{nod}\}$ – модель обучаемого, представляющая собой совокупность:

$M_\phi = \{\Phi, H_n\}$ – модели физиологической структуры, представляющей собой совокупность $\Phi = \{\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p\}$ – физиологических систем, а также $H_n = \{B, T\}$ – основных нервных процессов B – возбуждения и T – торможения;

$M_n = \{\Pi, K\}$ – модели психической структуры, которая условно может быть представлена как совокупность $\Pi = \{n_1, n_2, \dots, n_7\}$ – психических познавательных процессов и формируемых под их непосредственным воздействием $K = \{k_1, k_2, \dots, k_o\}$ – профессионально важных качеств и свойств, необходимых специалисту для выполнения должностных и специальных обязанностей, определяемых специальностью (специализацией);

$M_{nod} = \{I_z, I_y, I_n\}$ – модели уровня начальной (базовой) подготовки специалиста, представляющей собой совокупность I_z – знаний, I_y – умений, I_n – навыков, требуемых для выполнения задач подготовки по специальности (специализации).

Таким образом, в данной статье под "моделью специалиста" был принят условный образ совокупности физиологической, психической его структур, а также уровня подготовки, позволяющий адекватно оценить готовность специалиста выполнять должностные обязанности. Для выявления вышеуказанных свойств обучаемого как на этапе отбора, так и периодически в процессе его подготовки применяются различные формы экспертизы.

Известно более 400 терминов, характеризующих человека как индивида, как личность. На основе проведённых профессиографических условий, содержания и опасностей труда на предприятиях промышленности, транспорта и строительства для оценки профпригодности работников выделено 31 профессионально важных качеств, подразделяемых на три группы:

- А. Профессиональные знания и умения.
- Б. Социально-психологические качества.
- В. Физиологические и психофизиологические качества.

У конкретного работника каждое качество может иметь разную степень выраженности, например, профессиональные умения – от мастерства до его полного отсутствия.

Шкалу оценок выраженности качеств можно представить как ось, на которой выраженность качеств убывает слева направо и постепенно переходит в "антикачество". Например, осторожность переходит в свой антипод – беспечность.

В период реформирования и становления системы профессионального образования среди многих путей, обеспечивающих её эффективное функционирование, обозначена и индивидуализация обучения, которая для определения

индивидуальной обучающей траектории однозначно предполагает необходимость корректного учёта индивидуальных свойств психофизиологической системы при планировании учебного процесса, которая требует владения органами управления вузов методическим аппаратом, позволяющим оперативно и адекватно корректировать или разрабатывать содержание документов Основной образовательной программы ВПО.

Специалисты, инженерно-технические работники, студенты проходят профессиональное обучение по вопросам охраны труда, промышленной, пожарной, экологической, транспортной безопасности в высших и средних учебных заведениях при изучении интегрированного системообразующего курса (дисциплины) "Безопасность жизнедеятельности". Прогностичность данной дисциплины заключается в том, что практически доказано формирование общества риска, которое возникает в рамках постиндустриального общества.

Риски постоянно производятся обществом. Генерация рисков – мощный фактор изменения структуры общества, перестройки его по критерию степени подверженности рискам. Риски не воспринимаются органами чувств человека, а существуют лишь в форме знания о них. Поэтому специалисты, ответственные за определение степени рискогенности новых технологий, приобретают ключевые социальные, экономические, правовые и политические позиции в обществе.

Таким образом, использование модели обучения (1) для условий учебного процесса в вузе предполагает знание значений параметра модели $T_i(p^*)$ в зависимости от вида учебного занятия и требуемого уровня усвоения учебной информации. Поэтому, после проведения i -го вида занятия, можно записать:

$$\bar{Q}_i = 1 - \exp\left(-\frac{\bar{\tau}_i}{T_i(p^*)}\right), \quad (2)$$

где \bar{Q}_i – степень усвоения учебной информации после проведения одного i -го вида занятия;

$\bar{\tau}_i$ – время проведения (трудоемкость) i -го вида занятия, мин.

Из (2) следует выражение для параметра $T_i(p^*)$:

$$T_i(p^*) = -\frac{\bar{\tau}_i}{\ln(1 - \bar{Q}_i)}. \quad (3)$$

Подставляя данное выражение в (1), получим:

$$1 - Q_i = \exp\left(\frac{\tau_i \cdot \ln(1 - \bar{Q}_i)}{\bar{\tau}_i}\right).$$

Логарифмируя обе части данного выражения, модель обучения (1) примет вид:

$$Q_i = 1 - (1 - \bar{Q}_i)^{\tau_i / \bar{\tau}_i}. \quad (4)$$

Поскольку обучение в вузе строится в виде учебных занятий, время проведения (трудоемкость) каждого из которых, как правило, равно двум часам учебного времени или 90 минутам ($\bar{\tau}_i = 90 \text{ мин.}$), то для времени изучения учебной информации на i -м виде занятия τ_i справедливо выражение:

$$\tau_i = n_i \cdot \bar{\tau}_i,$$

где n_i – количество занятий i -го вида по изучению предъявляемого количества учебной информации темы.

Таким образом, зависимость (4) можно представить в следующем виде:

$$Q_i = 1 - (1 - \bar{Q}_i)^{n_i}. \quad (5)$$

Представление модели обучения (1) в виде (5) позволяет упростить процесс её использования. Это достигается за счет того, что в выражении (5) в качестве параметра модели, характеризующего процесс обучения, используется измеряемая величина \bar{Q}_i , что, в свою очередь, избавляет от необходимости выполнять промежуточные расчёты параметра T_i по формуле (3).

Применение модели обучения (5) позволит определять степень усвоения обучаемым информации после проведения n_i занятий i -го вида или рассчитывать необходимое количество учебных занятий n_i для достижения требуемого значения величины Q_i . Учитывая то, что опасности по своей природе носят перманентно-тотальный характер, а образовательная деятельность имеет явный дискретный и, строго говоря, бессистемный вид, предложенный в статье подход будет способствовать созданию адекватной образовательной системы в области производственной безопасности.

Литература

1. Тимофеева С.С., Шешуков Ю.В. Производственная безопасность: учебное пособие. М.: Форум: ИНФРА-М, 2014. 336 с.
2. Чура Н.Н. Техногенный риск: учебное пособие. М.: КНОРУС, 2011. 280 с.
3. Присняков В.Ф., Приснякова Л.М. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. М.: Машиностроение, 1990. 248 с.
4. Человеческий фактор. В 6-ти томах. Т. 1. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина / Пер. с англ. Ж. Кристенсен, Д. Мейстер, П. Фоули и др. М.: Мир, 1991. 600с.
5. Фролов А.В., Шевченко А.С. Управление техносферной безопасностью: учебное пособие. Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) – Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2014. 300 с.