

Кондратенко Александр Николаевич, к.т.н.,  
Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБУЧАЕМОСТИ ОБСЛУЖИВАЮЩЕГО ПЕРСОНАЛА ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

**Аннотация:** В работе предложена математическая модель обучаемости обслуживающего персонала. Рассмотренная математическая модель обучаемости, представляющая собой математическую формализацию процесса профессиональной подготовки операторов на основе выходных показателей, характеризующих этот процесс, без раскрытия его микроструктуры. Она позволяет решать важные практические задачи составляющие основу системы профессиональной подготовки обслуживающего персонала объектов теплоэнергетики.

**Ключевые слова:** Математическая модель, профессиональная подготовка, объекты теплоэнергетики, модель обучаемости.

Реализация управленческих решений по использованию объектов теплоэнергетики производится непосредственно обслуживающим персоналом и во многом определяется качеством его деятельности. В свою очередь качество деятельности обслуживающего персонала зависит от уровня его профессиональной подготовленности.

Начальным этапом в обеспечении профессиональной подготовленности обслуживающего персонала является оценка профессиональной пригодности, которая должна решаться до начала профессиональной подготовки в рамках профессиональной ориентации до профессионального отбора.

Непременным условием работы системы обучения является получение, обработка, хранение и передача различного рода информации.

Рассмотрим основные элементы теории информации. Любое сообщение, любая информация есть совокупность сведений о некоторой физической системе. Сообщение имеет смысл только тогда, когда ее состояние заранее неизвестно. Например, некоторое сообщение  $x$  ("Нарушение режима работы системы охлаждения"), которое имеет конечное множество состояний:  $x_1$  ("Неисправность охлаждающего насоса"),  $x_2$  ("Большое количество включенных потребителей охлаждающей воды"),  $x_3$  ("Засоренной приемной решетки охлаждающего насоса"),  $x_n$  ("Закрытие или неисправность клапана слива системы охлаждения"), с вероятностями  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ . В качестве меры априорной неопределенности системы применяют специальную характеристику системы – энтропию. Энтропией  $H(X)$  системы  $X$  называют взятую с обратным знаком сумму произведений вероятностей различных состояний системы на логарифм этих вероятностей

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1.1)$$

Энтропия обладает рядом свойств, оправдывающих ее выбор в качестве меры неопределенности:

- обращается в нуль, когда одно из состояний системы достоверно остальные – невозможны (поскольку вероятность достоверного события  $p=1$ , а  $\log 1=0$ );
- обращается в максимум, когда все состояния системы равновероятны;
- увеличивается с увеличением числа состояний;
- обладает свойством аддитивности, т.е. при объединении нескольких независимых систем в одну, их энтропия складывается.

Единица измерения энтропии зависит от принятого основания логарифма в формуле (1.1). Если используется основание 2 (двоичный логарифмом  $\log_2 p_i$ ), то энтропию измеряют в двоичных единицах – битах. Тогда используется основание  $e$  (натуральный логарифм  $\ln p_i$ ), то энтропию измеряют в натах.



В результате получения сведений о физической системе ее неопределенность может быть уменьшена. Чем больше информации о системе, тем меньше неопределенность ее состояния. Поэтому количество информации измеряется уменьшением энтропии системы

$$I_1 = H(X) - H_1(X). \quad (1.2)$$

То количество информации, приобретенное при полном выяснении состояния физической системы, равно энтропии этой системы.

$$I_x = H(X) - 0 = -\sum_{i=1}^n p_i * \log p_i \quad (1.3)$$

Теория информации позволяет решать ряд задач при планировании и организации системы подготовки личного состава и прогнозировании ее результатов. Основная трудность при решении этих задач состоит в составлении информации о системе (I). Речь идет о том, что для каждого заведующего опытными специалистами должна быть составлена полная или конкретная информация о его заведовании, наподобие той, которая приведена выше в качестве примера. Для реализации системного подхода в эту информацию должны войти вопросы не только касающиеся устройства изделия или системы, правила его эксплуатации и предупреждения аварийности, но и вопросы взаимодействия механизмов и систем заведования конкретного специалиста с другими системами и механизмами и характер их проявления.

Вторая трудность возникает при обеспечении объективного контроля за ходом процесса обучения. Традиционные формы контроля требуют значительных затрат времени для опроса всех обучаемых, кроме того, качество устного контроля зависит от индивидуальных особенностей, уровня подготовки и опыта офицера-руководителя. Часто недостаток времени делает устный контроль формальным, а оценки необъективными. Указанных недостатков лишен тестовый контроль. А наличие на корабле и соответствующего программного обеспечения делают его незаменимым для массового контроля знаний обучаемых. Главными преимуществами тестового машинного контроля являются: массовость, оперативность, объективность, возможность быстрой статистической обработки результатов контроля, экономия времени.

После разработки информации о системе и тестовых карт задачи планирования и прогнозирования результатов подготовки личного состава существенно упрощаются. В основу планирования положена зависимость (1.4) уровня профессиональной подготовки от времени, затраченного на ее подготовку, составленная на основе теории информации и носящая наименование математической модели обучаемости:

$$Q(t) = Q_{np} - (Q_{np} - Q_0) e^{-t/t_0} \quad (1.4)$$

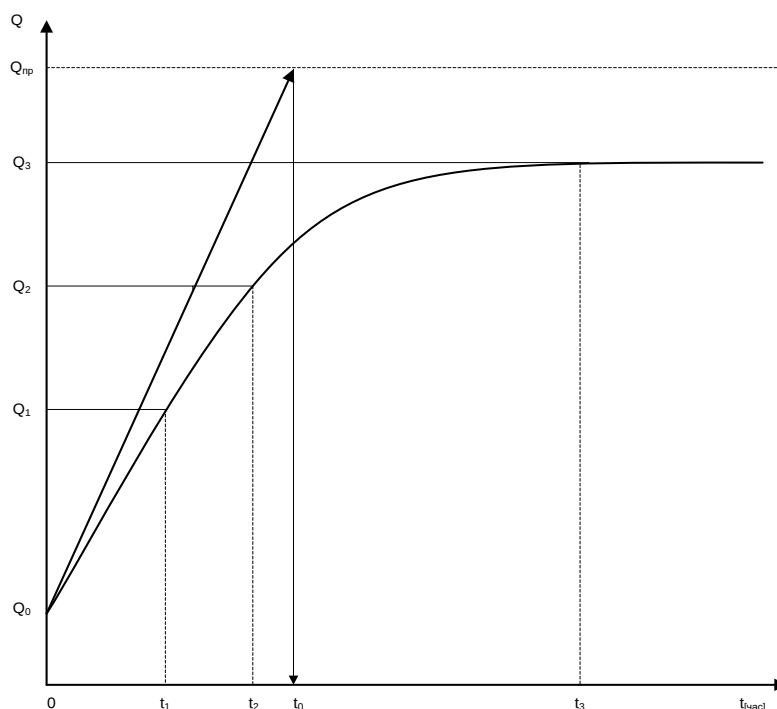
$Q(t)$  – функция уровня профессиональной подготовленности (уровень полученных знаний в результате усвоения информации о системе) в зависимости от времени затраченного на ее усвоение. Практически  $Q(t)$  оценивается количеством правильных ответов в результате тестирования;

$Q_{np}$  – предельный уровень подготовленности оператора, соответствующий его потенциальным возможностям по усвоению информации о системе данного типа, если время на его подготовку будет бесконечно большим;

$Q_0$  – исходный уровень подготовленности оператора, до начала процесса обучения.  $Q_0$  характеризует начальный уровень знаний конкретного специалиста предметной области, приобретенный им либо в учебном отряде, либо путем передачи опыта другими специалистами и т.д.,  $t$  – время затраченное на специальную подготовку;  $t_0$  – коэффициент, характеризующий способности оператора к обучению.

Физический смысл коэффициента  $t_0$ , выраженного в единицах времени можно представить из следующих соображений: он характеризует время достижения оператором предельного уровня  $Q_{np}$  при условии, что зависимость уровня подготовленности от времени носила бы линейный характер, представленный на рис. 1.1 касательной к кривой обучаемости, приведенной из точки с координатами  $Q(t)=Q_0$  и  $t=0$ . Очевидно, что более крутой характер касательной характеризует оператора как более способного к обучению.





**Рисунок 1.1** Зависимость уровня подготовленности оператора от времени, затраченного на его подготовку (обучения)

Зависимость (1.4) позволяет достаточно наглядно представить динамику роста уровня профессиональной подготовленности оператора с течением времени, затраченного на его подготовку.

При использовании зависимости (1.4) необходимо определиться в способах нахождения  $Q_{пр}$ ,  $Q_0$  и  $t_0$ , которые фигурируют в выражении константы.  $Q_0$  первоначально может определяться по количеству правильных ответов в результате тестирования до начала процесса занятий по специальности. Учитывая, что при первоначальном тестировании в  $Q_0$  могут войти случайно угаданные ответы – данная величина может уточняться в процессе специальной подготовки по зависимости (1.5), построенной по 3-м точкам экспериментальной кривой (см. рис. 1.1). Для получения этих точек через промежутки времени  $t_1$ ;  $t_2=2t_1$ ; и  $t_3=4t_1$  необходимо определить соответствующие уровни значений  $Q_1$ ,  $Q_2$  и  $Q_3$ . После чего  $Q_0$  определяется из выражения [1, 3]:

$$Q_0 = Q_1 - \frac{(Q_2 - Q_1)^2}{2(Q_3 - Q_2)} * \left(1 + \sqrt{\frac{4Q_3 - 3Q_2 - Q_1}{Q_2 - Q_1}}\right) \quad (1.5)$$

Для определения  $Q_{пр}$  и  $t_0$  могут быть использованы выражения (1.6 ÷ 1.9) [1, 3]:

Для одной точки экспериментальной кривой:

$$Q_{пр} = \frac{Q_1 - Q_0 * e^{-t/t_0}}{1 - e^{-t/t_0}} \quad (1.6)$$

$$t_0 = \frac{t_1}{\ln[(Q_{пр} - Q_0)/(Q_{пр} - Q_1)]} \quad (1.7)$$

или более точное для 2-х точек экспериментальной кривой:

$$Q_{пр} = \frac{Q_1^2 - Q_0 * Q_2}{2 * Q_1 - (Q_2 + Q_0)} \quad (1.8)$$

$$t_0 = \frac{t_1}{\ln[(Q_1 - Q_0)/(Q_2 - Q_1)]} \quad (1.9)$$

Таким образом, построенная математическая модель обучаемости, представляющая собой математическую формализацию процесса профессиональной подготовки операторов на основе выходных показателей, характеризующих этот процесс, без раскрытия его микроструктуры. Она позволяет решать важные практические задачи составляющие основу системы профессиональной подготовки специалистов обслуживающих объекты теплоэнергетики.



При реализации предложенной математической модели на практике, целью интенсификации процесса специальной подготовки личного состава необходимо учитывать, что после достижения человеком определенного уровня знаний, если к ним не обращаться, начинается фаза деградации или потери знаний в результате забывания. Этот процесс объясняется свойствами человеческой памяти. Обычно различают три вида памяти [2]: непосредственную (оперативную), кратковременную и долговременную.

Поступившие от органов чувств, сведения 10 – 15 секунд (до 160) находятся в оперативной памяти. Большая часть из них теряется, а меньшая (3% – 4%) при обязательном наличии подкреплений (повторений) переходит в кратковременную память, где она хранится 24 – 48 часов, в течение которых большая часть теряется, а меньшая (10% поступившей или 0,3% – 0,4% от первоначальной) переходит в долговременную память.

Рассмотренные свойства памяти человека показывают необходимость повторений, как при запоминании информации, так и для ее сохранения. На рисунке 1.2 представлена кривая роста и восстанавливаемости знаний.

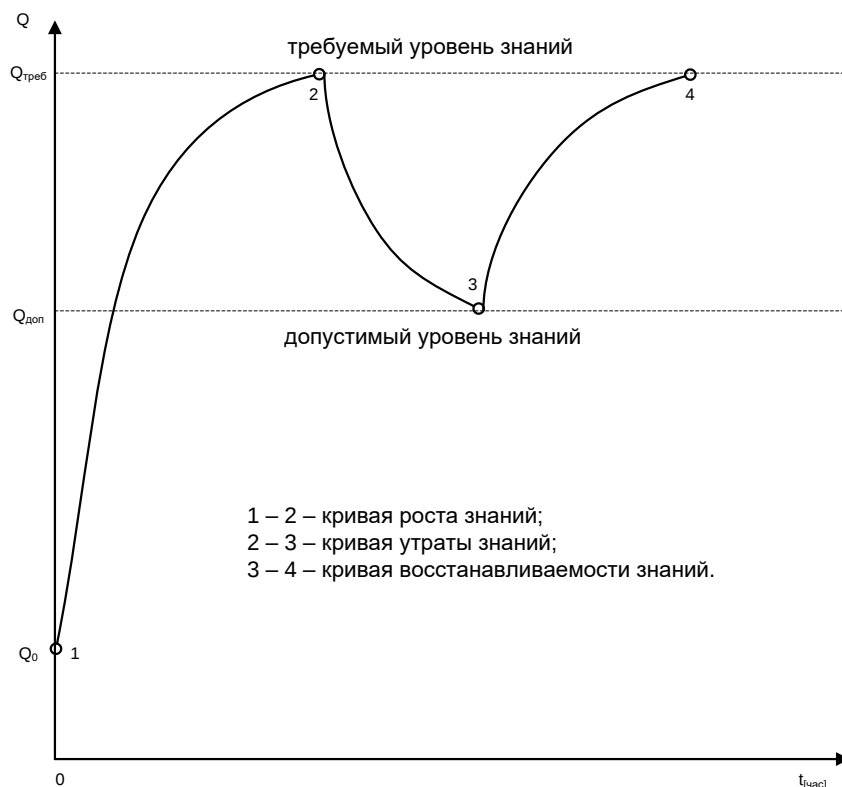


Рисунок 1.2 Кривая роста и восстанавливаемости знаний

#### Список литературы:

1. Зинченко В. П. Введение в эргономику. – Москва: "Сов. радио", 1974. – 350 с. – Текст: непосредственный.
2. Основы инженерной психологии. /Под редакцией Ломова В. Ф. – Москва: "Высшая школа", 1986. – 335 с. – Текст: непосредственный.
3. Трапезников В. А. Управление и научно-технический прогресс. – Москва: "Наука", 1983. – 224 с. – Текст: непосредственный.

