

РАЗДЕЛ 5. МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

УДК 519.8:69.003

Яценко Л. Ф.

ВЕРОЯТНОСТНО-ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОПАРКА

У статті вирішується задача оптимізації кількісного складу бригади механіків на основі розробленої ймовірностно-імітаційної моделі технічного обслуговування автопарку.

Ключові слова: Системи масового обслуговування, імітаційне моделювання, розподіл ймовірностей, технічне обслуговування, оптимізація, ефективність роботи, автотранспортне підприємство.

В статті решається задача оптимізації кількісного складу бригади механіків на основі розробленої ймовірностно-імітаційної моделі технічного обслуговування автопарку.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, имитационное моделирование, распределение вероятностей, техническое обслуживание, оптимизация, эффективность работы, автотранспортное предприятие.

In the article the task of optimization of quantitative composition of brigade of mechanics decides on the basis of the worked out probabilistic-imitation model of technical maintenance of motor-car park.

Key words: systems of mass service, imitating modeling, distribution of probabilities, maintenance service, optimization, overall performance, the motor transportation enterprise.

Постановка проблеми. Согласно статистическим данным автотранспортные грузовые и пассажирские перевозки являются в Украине одним из достаточно динамично развивающихся видов частной предпринимательской деятельности. Вслед за торговлей и банковской сферой эта отрасль функционирования малого и среднего бизнеса обеспечивает самое большое количество рабочих мест для наемных работников, а потому заслуживает самого пристального внимания.

Анализ литературы. Деятельность любого предприятия, в том числе и автотранспортного, связана как с организацией бизнес-деятельности, так и с мониторингом текущей деятельности предприятия [1; 2].

Организация эффективного мониторинга своей деятельности – одна из основных задач современного предприятия любой формы собственности [3]. Анализ данных мониторинга позволяет не только планировать и прогнозировать развитие основных составляющих бизнеса, но и отслеживать состояние самого предприятия, эффективность его деятельности. Для того чтобы достичь успеха, современный предприниматель должен уметь оценивать ситуацию и принимать решения с использованием комплексного подхода на основе научных достижений в области исследования операций и теории принятия решений [4].

Несмотря на то, что малые и средние АТП составляют значительный процент среди всех подобных предприятий, моделированию их деятельности уделяется недостаточное внимание. В

последнее время стали появляться работы, в которых рассматриваются логистические основы функционирования автотранспортных предприятий (АТП) [5].

К основным задачам внутрипроизводственной логистики АТП относят управление техническим обслуживанием и ремонтом подвижного состава (вспомогательное производство).

Цель данной работы – на основе имитационно-вероятностной модели определить оптимальный состав ремонтной бригады механиков в малом АТП.

Изложение основного материала. При разработке модели поставленной задачи будем рассматривать АТП как систему массового обслуживания, характеристики которой непосредственно связаны с ее состоянием – количеством автомобилей и надежностью их работы. При моделировании развития АТП обычно используют методы детерминистско-оптимальной и вероятностно-адаптивной абстракции [5].

Существуют общие подходы к созданию моделей по обслуживанию поступающих в потоке заявок (модели теории массового обслуживания). Центральное место в моделировании таких процессов занимают уравнения гибели и размножения. Частным случаем таких процессов является модель Эрланга, на которой базируются вероятностные модели конкретных систем обслуживания. Эти модели описывают работу систем в динамике, то есть их поведение во времени [6]. В реальных задачах, как правило, практический интерес представляет работа сис-

тем в стабильном (стационарном) режиме, когда их поведение не зависит от времени.

Сформулируем задачу оптимизации численности обслуживающей бригады механиков следующим образом. Частный предприниматель имеет небольшой автомобильный парк из нескольких машин (пусть $k = 10$). Их обслуживает ремонтная бригада (R – количество механиков).

Автомобили во время эксплуатации выходят из строя, причем поломки происходят в случайные моменты времени (простейший пуассоновский поток поступления заявок на ремонт с интенсивностью λ). При этом плотность показательного (экспоненциального) распределения имеет вид:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1)$$

с математическим ожиданием длительности интервала между двумя последовательными заявками $1/\lambda$.

Если поступление заявок носит дискретный характер, то говорят о пуассоновском законе распределения:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где $P_n(t)$ – вероятность того, что за время t в систему поступит ровно n заявок, т. е. выйдут из строя n машин.

Обычно $\lambda = n/t$ называется *интенсивностью потока* и имеет смысл среднего числа заявок, поступающих в единицу времени.

Полагаем, что поломки устраняются механиками бригады, причем время, которое затрачивается на это, является случайной величиной, имеющей пуассоновский закон распределения с параметром μ :

$$P_m(t) = \frac{(\mu t)^m}{m!} e^{-\mu t}, \quad (3)$$

где $P_m(t)$ – вероятность того, что за время t будет отремонтировано m машин;

$\mu = m/t$ имеет смысл среднего числа машин, отремонтированных в единицу времени.

Если обозначить $\lambda/\mu = \rho$, то получаются *формулы Эрланга*, которые выражают предельные вероятности всех состояний системы в зависимости от параметров λ , μ , n .

Считаем автопарк системой обслуживания, в которой случаются поломки и ремонт автомобилей. Для изучения эффективности работы бригады механиков в данном автопарке рассмотрим вероятностную модель М/М/Р (по системе обозначений Кендала для классификации систем обслуживания) с некоторыми особенностями: поскольку ремонтируемые автомобили не могут выходить из строя, будем считать, что объем заявок не превышает общего числа автомобилей в парке (т. е. десяти). Количество отре-

монтированных машин напрямую зависит от числа вышедших из строя машин (n) и численности бригады механиков (R). Для многоканальной системы с неограниченной очередью должно выполняться условие $\rho/R < 1$, где ρ – параметр загрузки системы (среднее число занятых каналов), R – количество каналов (механиков).

Таким образом, выполняются следующие условия:

$$\lambda = \begin{cases} (k-n)\lambda, & 0 \leq n \leq k, \\ 0, & n > k; \end{cases} \quad \mu = \begin{cases} n\mu, & 0 \leq n \leq R, \\ R\mu, & R \leq n \leq k, \\ 0, & n > k. \end{cases} \quad (4)$$

В стационарном режиме рассматриваемая нами модель выглядит как система рекуррентных уравнений:

$$\begin{cases} \lambda k p_0 = \mu p_1, \\ [\lambda(n-1) + \mu] p_2 = 2\mu p_2 + \lambda k p_1, \\ [\lambda(n-2) + 2\mu] p_3 = 3\mu p_3 + \lambda(n-1) p_2, \\ (\lambda + R_\mu) p_{k-1} = R_\mu p_k + 2\lambda p_{k-2}, \\ R_\mu p_k = \lambda p_{k-1} \end{cases} \quad (5)$$

где p_0 – вероятность того, что в системе не будет заявок (т. е. вышедших из строя машин);

p_n – вероятность того, что сломается n автомобилей за один день.

Среднее число заявок на ремонт в день:

$$Q = \sum_{n=0}^{\infty} n p_n. \quad (6)$$

Среднее число автомобилей, ждущих ремонта:

$$L = Q - \rho, \quad (7)$$

где $\rho = \lambda/\mu$.

Среднее время ожидания ремонта в очереди:

$$W = Q/\lambda - 1/\mu. \quad (8)$$

Решая систему уравнений, для каких угодно значений R и k ($R < k$) в общем виде имеем:

$$p_n = \begin{cases} C_k^n \rho^n p_0, & 0 < n \leq R, \\ C_k^n \frac{n!}{R! R^{n-R}} \rho^n p_0, & R < n \leq k; \end{cases} \quad (9)$$

$$p_0 = \left[\sum_{n=0}^R C_k^n \rho^n + \sum_{n=R+1}^k C_k^n \frac{n!}{R! R^{n-R}} \rho^n \right]^{-1}.$$

Формулы (1), (2) и (9) были положены в основу расчетной модели вероятностей числа вышедших из строя автомашин. Данные расчеты выполнены с помощью математического пакета MathCad для различной численности бригады механиков.

Следует отметить, что при этом с учетом формул (1) и (2) в условиях значительной зависимости параметра μ от R , параметр загрузки системы ρ практически не зависит от численности бригады механиков (рис. 1 а, б).

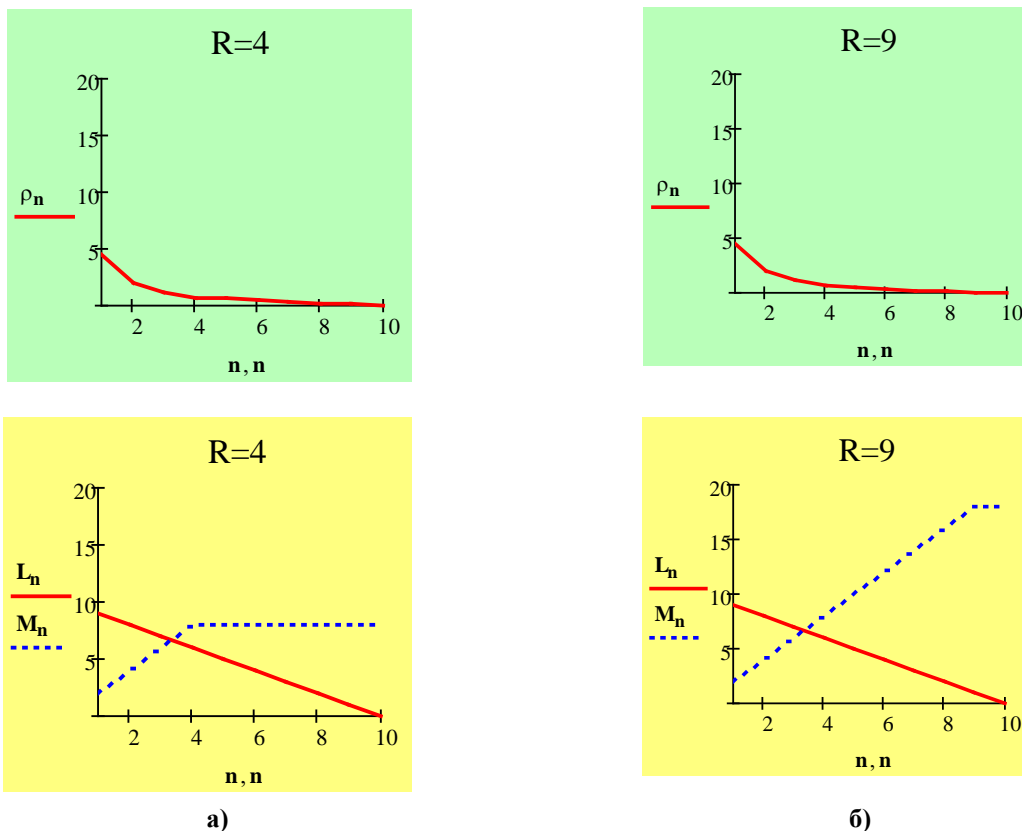


Рис. 1. Зависимость параметров λ , μ и ρ от количества вышедших из строя машин n : а) $R = 4$, б) $R = 9$.

В расчетах были приняты начальные значения $\lambda = 2$, а $\mu = 3$. В формулу (9) вводились значения параметра ρ_n , значение которого зависело от числа вышедших из строя машин n .

Полученные значения вероятности того, что ремонта потребуют ровно n машин, значительно отличаются при различной численности бригады механиков (рис. 2 а, б).

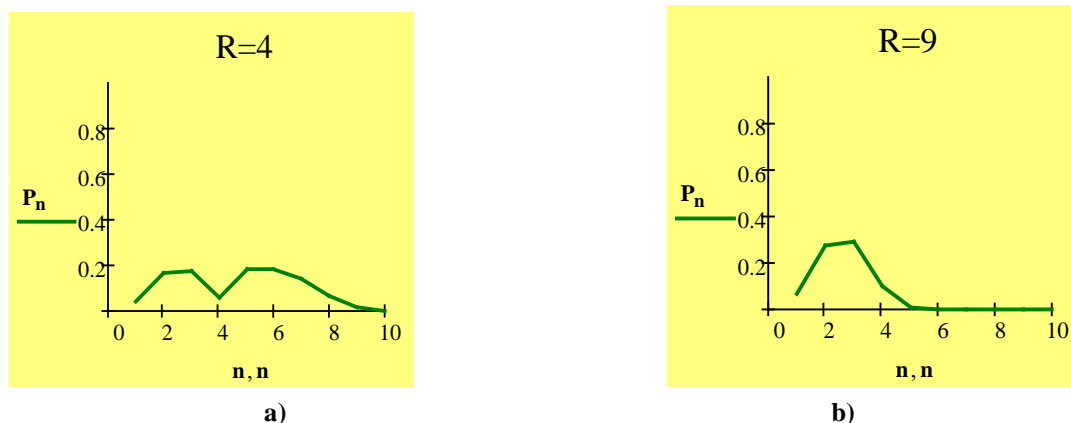


Рис. 2. Распределение вероятности количества вышедших из строя машин P_n при различной численности бригады механиков: а) $R = 4$, б) $R = 9$.

Рассчитанные распределения вероятностей были положены в основу имитационного эксперимента по определению числа вышедших из строя машин, числа ожидающих ремонта машин и отремонтированных машин.

План эксперимента был разработан на основе сопоставления случайных чисел в диапазоне от 0 до 1 с распределениями вероятностей P_n при различных значениях R . Генерация случай-

ных чисел по закону Пуассона проводилась средствами табличного процессора Microsoft Excel. Теоретические основы эксперимента изложены в монографии [7, с. 353–355].

Пример полученных данных для $R = 5$ приведен в табл. 1, в последней строке которой вычислены средние значения соответствующих характеристик системы. Эксперимент рассчитан на месяц (30 дней).

Таблица 1.

Данные имитационного эксперимента.

$R = 5$							
День	Число оставшихся неотремонтированных машин	Случайное число (Пуассон)	Число вышедших из строя машин	Число ожидающих ремонта машин	Число отремонтированных машин на 1 механика (Пуассон)	Число отремонтированных машин (бригада)	Уточненное число отремонтированных машин
1	0	1,95E-01	1	1	2	10	1
2	0	4,58E-03	0	0	2	10	0
3	0	2,00E-02	0	0	0	0	0
4	0	1,44E-01	1	1	4	20	1
5	0	1,58E-01	1	1	1	5	1
6	0	0,241	1	1	2	10	1
7	0	0,954	6	6	2	10	6
8	0	4,68E-01	2	2	0	0	0
9	2	1,48E-01	1	3	2	10	3
10	0	7,00E-02	1	1	3	15	1
11	0	1,07E-01	1	1	4	20	1
12	0	1,68E-03	0	0	5	25	0
13	0	2,11E-03	0	0	2	10	0
14	0	5,66E-01	2	2	1	5	2
15	0	0,587	2	2	2	10	2
16	0	1,70E-01	1	1	0	0	0
17	1	0,432	2	3	1	5	3
18	0	0,251	1	1	2	10	1
19	0	8,94E-03	0	0	5	25	0
20	0	6,73E-01	3	3	3	15	3
21	0	1,32E-01	1	1	2	10	1
22	0	2,74E-01	1	1	2	10	1
23	0	7,40E-02	1	1	1	5	1
24	0	6,00E-02	0	0	0	0	0
25	0	6,60E-02	0	0	2	10	0
26	0	0,292	1	1	2	10	1
27	0	3,22E-01	1	1	3	15	1
28	0	0,029	0	0	2	10	0
29	0	1,59E-01	1	1	1	5	1
30	0	0,182	1	1	2	10	1
	0		1	1			1

Оптимизация численности бригады проводилась на основе получения максимизации функции ежедневного дохода, определяемого по формуле:

$$Z = (k - Q)F - QY - RS, \quad (10)$$

где F – доход от эксплуатации одной машины (5000 грн./день);

S – фонд заработной платы на 1 механика (300 грн./день);

Y – затраты на ремонт одной машины (500 грн./день);

k – количество машин в автопарке;

Q – среднее число заявок на ремонт в день (число ожидающих ремонта машин), определяемое из табл. 1.

Результаты расчетов представлены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2.

Расчетные данные и величина условного дохода автопарка.

Количество механиков R	Среднее число заявок на ремонт в день Q	Ежедневный доход Z (грн./день)
2	4,1	26850
3	2,9	33150
4	1,9	38350
5	2,1	37225
6	2,6	34175
7	2,9	31950
8	3,1	30550
9	2,6	33000

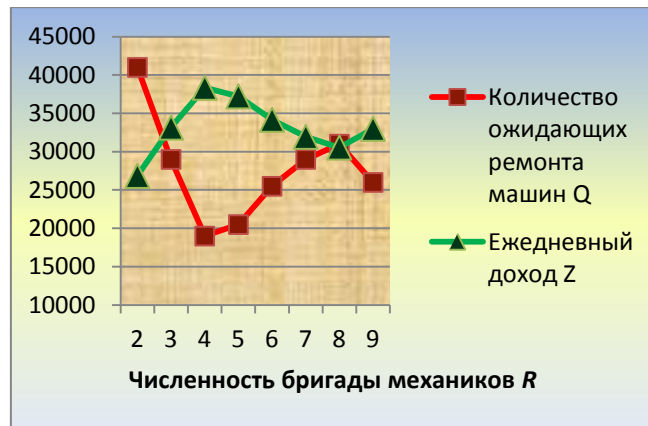


Рис. 3. Зависимость ежедневного дохода (Z) и количества ожидающих ремонта машин (Q) от численности бригады механиков (R).

Выводы. Ориентируясь на экономические показатели конкретного автопарка, разработанная на основе вероятностно-имитационного подхода модель технического обслуживания автопарка позволила рассчитать эффективность работы бригады механиков различной численности.

Введенная нами функция стоимости затрат автопарка на ремонт автомобилей позволила найти оптимальную численность бригады механиков. Данная модель может быть положена в основу компьютерного модуля расчета эффективности работы малого и среднего автотранспортного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко О. А. Рынок мониторинга / О. А. Бондаренко // Механізм регулювання економіки, економіка природокористування, економіка підприємства та організація виробництва. – 2005. – № 4. – С. 51–52.
2. Гаврилова В. Л. Мониторинг предприятия / В. Л. Гаврилова // Экономические проблемы и перспективы стабилизации экономики Украины. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2006. – С. 120–124.
3. Литвак Б. Г. Экспертные оценки и принятие решений / Б. Г. Литвак. – М. : Патент, 1996. – 271 с.
4. Исследование операций в экономике : учебное пособие для вузов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, И. М. Тришин, М. Н. Фридман ; [под ред. Н. Ш. Кремера]. – М. : ЮНИТИ, 2003. – 407 с.
5. Писецкая В. В. Логистика автомобильного транспорта: проблемы методического обеспечения [Электронный ресурс] / В. В. Писецкая. – Режим доступа к ресурсу: <http://www.bizeducation.ru/library/log/trans/pisetskaya.htm>.
6. Жлуктенко В. І. Стохастичні процеси та моделі в економіці, соціології, екології : навчальний посібник / В. І. Жлуктенко, С. І. Наконечний, С. С. Савіна. – К. : КНЕУ, 2002. – 226 с.
7. Афанасьев М. Ю. Исследование операций в экономике: модели, задачи, решения : учебное пособие / М. Ю. Афанасьев, Б. П. Суворов. – М. : ИНФРА-М, 2003. – 444 с.

УДК 550.34.01

Ситшаева З. З., Билялова Л. Р., Билялова Э. В.

ДИСКРЕТНАЯ ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА

У статті розглядаються геодинамічні математичні моделі і пропонується дискретна прогностична модель зсувного процесу.

Ключові слова: зсувні процеси, математична модель, дискретизація.

В статье рассматриваются математические модели геодинамики и предлагается дискретная прогностическая модель оползневого процесса.

Ключевые слова: оползневые процессы, математическая модель, дискретизация.

The article deals with the geodynamics mathematical models. There is offered discrete prognostic one for landslides process.

Key words: landslides process, mathematical model, discretization.

Постановка проблемы. Одной из актуальных прикладных проблем современной науки является моделирование механизма возникнове-

ния и протекания природных катастроф, в том числе и оползневых процессов. Методы прогнозирования на основе динамических математиче-

ских моделей широко применяются в мировой практике и являются одним из ключевых направлений фундаментальных и прикладных исследований в геофизике, информатике и математике [1].

Анализ литературы. Для теоретического исследования и численного моделирования геодинамических процессов в основном используются конечно-разностные методы (схемы Лакса-Вендроффа и Мак-Кормака) [2–4].

Для изучения оседания земной поверхности в работе [5] А. О. Фаддеев и В. А. Минаев использовали трехмерную гидрогеологическую модель, сопряженную с одномерной моделью уплотнения водовмещающих и разделяющих слоев.

А. С. Бобрович и И. С. Рогозин в [6] применили анизотропную модель грунта по параметрам угла внутреннего трения и сцепления грунта:

$$S_{pwi} = P \operatorname{tg} \varphi_{wi} + C_{wi},$$

где S_{pwi} – сопротивление глинистого грунта сдвигу при нагрузке P и влажности w ;

P – действующее нормальное напряжение;

φ_{wi} – значение угла внутреннего трения при угле среза (i), равном углу между горизонталью и нормалью к зеркалу среза;

C_{wi} – сцепление при угле среза (i), равном углу между горизонталью и нормалью к зеркалу среза.

И. Д. Музаев применил интегральные преобразования Лапласа и Фурье для численных расчетов последствий процесса вторжения в заполненное водохранилище обвальнo-оползневoго массива на основе математической модели потока лавинного характера [7].

В расчетах напряженно-деформированного состояния оползневoго склона применяется также метод конечных элементов, а С. С. Ниязбеков в работе [8] использовал метод расчетов по предельному состоянию для получения информации для принятия проектного решения по степени и достаточности противооползневoй защиты дорожного земляного полотна.

В последнее время исследователи используют вычислительные схемы, называемые методом частиц (МЧ), обычно применяемые при численном моделировании процессов газодинамики и гидродинамики [9–11].

Для математического описания движения на склонах и других наклонных криволинейных поверхностях сплошных сред используется также теория мелкой воды (ТМВ). Уравнения теории мелкой воды являются более грубыми, чем полные уравнения гидромеханики и механики сплошной среды, и являются некоторым приближением последних.

Имеются работы, в которых МЧ и конечно-разностные методы совместно применяются в ТМВ [12; 13].

С. В. Богомолов и К. В. Кузнецов для численного моделирования движения оползневoго потока используют вариант МЧ, состоящий в адаптации формы частиц на каждом шаге по времени с целью выполнения условия слабой аппроксимации исходного решения, предложенный в [10].

В основе моделирования оползневoго процесса В. Свалова положила теорию движения вязкой жидкости в тонком слое, т. е. начально-краевую задачу для уравнения непрерывности и уравнения Навье-Стокса [14].

Для создания прогнозной модели Herbert Neuland [15] исследовал коэффициент корреляции для тридцати одного показателя оползневoго (вся выборка насчитывала 150 объектов) и выяснил, что независимыми можно считать, лишь девять из них. Им была построена прогнозная функция в виде:

$$T = 0,92222 \times 10^{-5} \operatorname{HN}^2 + 0,7926 \times \lg(\operatorname{FL} + 10) - 0,6098 \times \lg(\operatorname{EIND} + 10),$$

где HN и FL – крутизна и обводненность склона; EIND – плотность почвы.

Цель данной работы – разработка прогнозстической дискретной пространственно-временной математической модели оползневoго.

Изложение основного материала. Основная причина оползневoй состоит в нарушении устойчивости склона в результате природных процессов или человеческой деятельности, когда в какой-то момент времени силы связности грунтов или горных пород оказываются меньше, чем сила тяжести, например, при определенных сочетаниях структуры почвы, влажности и угла наклона. В результате оползневoго происходит перераспределение почвы в процессе резких обвалов или медленного постепенного скольжения, и геодинамическая структура приходит, возможно, на некоторое время, в состояние равновесия.

Рассмотрим двумерное движение тела оползневoго, следуя [16].

Пусть склон представляет собой наклонную плоскость.

Введем: систему координат $Oxuz$ так, что ось Ox направлена вдоль склона, а оси y и z – в плоскости, ортогональной к Ox и обозначения: h – осредненная глубина потока, измеренная по нормали к Ox ; u , v – компоненты осредненной по глубине скорости вдоль Ox , L – расстояние, на котором h , u , v меняются на величины порядка их самих.

Пусть $h/L \ll 1$, и среда является несжимаемой и однородной. Тогда уравнения неразрывности и движения потока имеют вид:

$$\begin{cases} \rho \frac{du_x}{dt} = \rho g \sin \alpha \cos \theta - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial T_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial T_{xz}}{\partial z} \\ \rho \frac{du_y}{dt} = \rho g \sin \alpha \sin \theta - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial T_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial T_{yz}}{\partial z} \\ \rho \frac{du_z}{dt} = -\rho g \cos \alpha - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial T_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial T_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial T_{zz}}{\partial z} \end{cases} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0. \quad (2)$$

Здесь $u_n = (u_x, u_y, u_z)$ – компоненты скорости, в качестве массовых сил рассматривается сила тяжести с ускорением g , α – угол склона к горизонту, θ – угол между Ox и дном потока, p –

давление, $\begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{zy} & T_{zz} \end{pmatrix}$ – тензор напряжения.

Скольжение происходит по дну потока $z = 0$, уравнение свободной поверхности имеет вид $z = h(x, y, t)$. На границах должны выполняться кинематические и динамические условия. Если нет потока массы через границу за счет фильтрации на дне и дождевого потока или испарения на поверхности, то кинематические условия состоят в том, что нормальные составляющие скорости среды на границе и скорости границы совпадают:

$$u_n|_{\Gamma} = (\vec{u} \cdot \vec{n})|_{\Gamma} = (u_x \cdot n_x + u_y \cdot n_y + u_z \cdot n_z)|_{\Gamma}, \quad (3)$$

где $u_n|_{\Gamma}$ – компоненты скорости границы;

\vec{n} – единичный вектор внешней по отношению к среде нормали к границе; для нижней границы $z = 0$, $n_x = 0$, $n_y = 0$, $n_z = -1$, $u_n = u_z$, $u_n = 0$, а для свободной поверхности: $z - h(x, y, t) = 0$,

$$n_x = -\frac{1}{N} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad n_y = -\frac{1}{N} \frac{\partial h}{\partial y}, \quad n_z = \frac{1}{N},$$

$$N = \sqrt{1 + \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2},$$

$$u_n = -\frac{1}{N} \left(u_x \frac{\partial h}{\partial x} + u_y \frac{\partial h}{\partial y} - u_z \right).$$

Продифференцируем компоненты скорости точки верхней границы, удовлетворяющей равенству $z - h(x, y, t) = 0$ по t , и получим соотношения:

$$u_{z\Gamma} - \frac{\partial h}{\partial x} \cdot u_{x\Gamma} - \frac{\partial h}{\partial y} \cdot u_{y\Gamma} - \frac{\partial h}{\partial t} = 0,$$

$$\text{и } u_{n\Gamma} = \frac{1}{N} \frac{\partial h}{\partial t},$$

откуда имеем кинематические условия на дне и свободной поверхности потока

$$\begin{cases} u_z = 0, \\ u_z = \frac{\partial h}{\partial t} + u_x \frac{\partial h}{\partial x} + u_y \frac{\partial h}{\partial y} = \frac{dh}{dt}, \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{при } z=0 \\ \text{при } z=h(x, y, t) \end{matrix} \quad (4)$$

Для потоков, содержащих глину, камни, глинистые растворы, сыпучие материалы, в [15] предлагается следующая зависимость:

$$\tau = \tau_c + \rho u^2, \quad (5)$$

где коэффициент τ_c не зависит от скорости.

Для сыпучих материалов коэффициент τ_c вычисляется с помощью закона Кулона (трение пропорционально нормальному давлению) и для потока на поверхности

$$\tau_c = k_c + \rho g h \cos \alpha, \quad (6)$$

где k_c – коэффициент кулоновского трения.

В [6] предложена модификация формулы для сухого трения, которая состоит в том, что пока не превышен предел прочности материала движущегося потока или склона трение вычисляется по формуле (6); если трение по Кулону оказывается выше предельного, то трение считается равным предельному, т. е.

$$\tau_c = \begin{cases} k_c \rho g h \cos \alpha, & \tau_c \leq \tau_* \\ \tau_*, & \tau_c > \tau_* \end{cases},$$

где τ_* – наименьший из пределов прочности на сдвиг материалов потока и его дна.

Расчеты устойчивости склонов основываются на идее предельного пластического равновесия: если касательные напряжения по поверхности скольжения становятся равными прочности грунта на сдвиг, то возникает состояние предельного равновесия:

$$\tau = s/\eta, \quad (7)$$

где τ – касательная составляющая напряжения;

s – прочность сдвига;

η – коэффициент устойчивости.

Согласно теории Мора-Кулона для s имеем:

$$s = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi, \quad (8)$$

где σ_n – нормальное напряжение;

C и φ – характеристики прочности грунта.

Поскольку предполагается, что поверхность скольжения плоская, то коэффициент устойчивости определяется выражением:

$$\eta = (N \operatorname{tg} \varphi + CS)/T, \quad (9)$$

где N и T – нормальная к плоскости скольжения и тангенциальная, действующая вдоль плоскости скольжения, силы соответственно;

S – площадь поверхности скольжения.

Заметим, что значения k_c и коэффициент гидравлического трения k_Γ не являются постоянными в процессе движения оползня. Однако описание изменения этих величин является сложным, поэтому обычно при расчетах они считаются константами, не зависящими от x и t . На основании данных о типичных углах β естественного откоса горных осыпей для коэффициентов сухого трения $k_c \approx \operatorname{tg} \beta$ в работе [3] предлагается следующий диапазон для k_c и для k_Γ :

$$\begin{matrix} 0,55 \leq k_c \leq 0,85, \\ 0,01 \leq k_\Gamma \leq 0,1. \end{matrix}$$

Действующая на оползень сила состоит из двух компонент: силы тяжести ($gh\sin\alpha$) и градиента гидростатического давления $\left(\frac{\partial(1/2 gh^2 \cos\alpha)}{\partial x}\right)$, и действует как на элемент по-

тока, так и на его остановившуюся часть. На основе приведенных рассмотрений запишем систему уравнений движения оползня по склону в одномерном приближении при $x \geq x_0$, $t \geq 0$ в виде:

$$\begin{cases} \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2 + 1/2 gh^2 \cos\alpha)}{\partial x} = gh\sin\alpha - k_\Gamma u|u| - k_C gh\cos\alpha \\ \frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{\partial(hu)}{\partial x} \end{cases} \quad (10)$$

Начальные условия для поставленной задачи имеют вид:

$$\begin{cases} u(x, t)|_{t=0} = u_0(x) \\ h(x, t)|_{t=0} = h_0(x) \end{cases} \quad (11)$$

Значения коэффициентов k_C , k_Γ и геометрические характеристики склона и оползневого потока $\alpha(x)$, $h_0(x)$, $u_0(x)$ считаются известными.

Задача Коши для системы двух дифференциальных уравнений в частных производных (10) с начальными условиями (11) в работе [13] решается с помощью МЧ при постоянных значениях функций h и α . В настоящей работе предлагается конечно-разностная аппроксима-

ция поставленной задачи, которая позволяет вычислять решение, как для постоянных, так и переменных h и α .

Введем сеточное разбиение по переменным x и t с шагами Δx и Δt :

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x; \quad i = \overline{0, n-1}, \quad x_0 = 0, \quad x_n = L,$$

$$t_{i+1} = t_i + \Delta t; \quad t_0 = 0; \quad i = 1, 2, 3, \dots$$

и обозначим через $h_{ij} = h(x_i, t_j)$; $v_{ij} = v_{ij}(x_i, t_j)$ значения искомых функций в узлах сетки (i, j) . Заменим в задаче (10), (11) частные производные функций в каждой точке (x_i, t_j) их конечно-разностными аналогами:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial v(x, t)}{\partial t}\right)_{i+1, j} &= \frac{v(x, t + \Delta t) - v(x, t)}{\Delta t} = \frac{v(x_i, t_{j+1}) - v(x_i, t_j)}{\Delta t} = \frac{v_{i, j+1} - v_{i, j}}{\Delta t}, \\ \left(\frac{\partial v(x, t)}{\partial x}\right)_{i+1, j} &= \frac{v_{i+1, j} - v_{i, j}}{\Delta x}, \quad \Delta x = x_{i+1} - x_i, \quad \Delta t = t_{j+1} - t_j, \end{aligned}$$

и в результате получим систему $2n$ конечно-разностных уравнений относительно переменных (h_{ij}, v_{ij}) в каждой точке t_1, t_2 :

$$\begin{cases} \frac{h_{i, j+1} - h_{i, j}}{\Delta t} = -\frac{h_{i+1, j} v_{i+1, j} - h_{i, j} v_{i, j}}{\Delta x} \\ \frac{h_{i, j+1} v_{i, j+1} - h_{i, j} v_{i, j}}{\Delta t} + \frac{(h_{i+1, j} v_{i+1, j}^2 + 1/2 g \cos\alpha h_{i+1, j}^2) - (h_{i, j} v_{i, j}^2 + 1/2 g \cos\alpha h_{i, j}^2)}{\Delta x} = \\ = g \sin\alpha h_{i, j} - k_\Gamma v_{i, j} |v_{i, j}| - k_C g \cos\alpha h_{i, j} \end{cases} \quad (12)$$

Функции $h(x, t)$, $v(x, t)$ при $j = 0$ считаем известными: $h_{i, 0} = (h_0)_i$, $v_{i, 0} = (v_0)_i$, $i = \overline{0, n}$. Вводя обозначения $A = 1/2 g \cos\alpha$, $B = \sin\alpha$, $C =$

$k_C g \cos\alpha$, из (12) получаем явные итерационные формулы для искомых величин:

$$\begin{cases} h_{i, j+1} = h_{i, j} - \frac{h_{i+1, j} v_{i+1, j} - h_{i, j} v_{i, j}}{\Delta x} \cdot \Delta t \\ v_{i, j+1} = [h_{i, j} v_{i, j} - \frac{\Delta t}{\Delta x} (h_{i+1, j} v_{i+1, j}^2 + A \cdot h_{i+1, j}^2 - h_{i, j} v_{i, j}^2 - A \cdot h_{i, j}^2) \times \\ \times \Delta t (B \cdot h_{i, j} - k_\Gamma v_{i, j} |v_{i, j}| - C \cdot h_{i, j})] / h_{i, j+1} \end{cases} \quad (13)$$

Выводы. Математические модели, основанные на теории мелкой воды, являются эффективным инструментом для исследования динамики оползневого процесса. Дискретные модели и итерационные схемы их решения позволяют получить численные результаты и для пе-

ременных характеристик оползня. Поскольку математическая модель имеет переменную границу (вдоль зеркала склона), то это следует учитывать при проведении численных расчетов. Поскольку разные части оползня не останавливаются одновременно, то в точках остано-

грунта следует проверить соотношение величин активной силы и силы трения. Если сила трения больше активной силы, то ее следует заменить силой, равной по абсолютной величине и обратной по направлению активной силе. Если активная сила меньше, чем сила сухого трения, то движения остановившейся части потока не происходит.

ЛИТЕРАТУРА

1. Про затвердження Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009–2013 роки. Наказ МОНУ та НАНУ від 26 листопада 2009 р. – № 1066/609. – 2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.mon.gov.ua/?id=2>.
2. Григорян С. С. Новый закон трения и механизм крупномасштабных горных обвалов и оползней / С. С. Григорян // Доклады АН СССР. – 1979. – Т. 244. – № 4. – С. 846–849.
3. Математическое моделирование горных обвалов и оползней больших объемов / С. С. Григорян, Н. Н. Нилов, А. В. Остроумов, В. С. Федоренко // Инженерная геология. – 1983. – № 6. – С. 61–73.
4. Бахвалов Н. С. Исследование одномерного движения снежной лавины по плоскому склону / Н. С. Бахвалов, М. Э. Эглит // Механика жидкости и газа. – 1973. – № 5. – С. 7–14.
5. Минаев В. А. Оползни, оседания, карстовые явления как проявления «медленных» катастроф [Электронный ресурс] / В. А. Минаев, А. О. Фаддеев. – Режим доступа : <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2006-5/29.ppt.06.pdf>.
6. Бобрович А. С. Определение вероятности образования оползня с учетом анизотропной модели грунта / А. С. Бобрович // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=447312>.
7. Музаев И. Д. Математическое моделирование некоторых опасных экзогенных и гидравлических процессов [Электронный ресурс] / И. Д. Музаев, В. Г. Созанов / Северо-Осетинский государственный ун-т. – Режим доступа : <http://www.ict.nsc.ru/jct/getfile.php?id=27>.
8. Ниязбеков С. С. Методика расчета и проектирования противооползневых сооружений для защиты дорожного земляного полотна : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук : спец. 05.23.11 / С. С. Ниязбеков. – М. : НИИ транспортного строительства, 2006. – 27 с.
9. Консервативный метод частиц для квазилинейного уравнения переноса / С. В. Богомолов, А. А. Замараева, Х. Карабелли, К. В. Кузнецов // ЖВМиМФ. – 1998. – Т. 38. – № 9. – С. 1602–1607.
10. Богомолов С. В. Метод частиц для систем уравнений газовой динамики / С. В. Богомолов, К. В. Кузнецов // Математическое моделирование. – 1998. – Т. 10. – № 3. – С. 93–100.
11. Хокни Р. Численное моделирование методом частиц / Р. Хокни, Д. Иствуд. – М. : Мир, 1987. – 633 с.
12. Богомолов С. В. Моделирование движения потоков различной природы по наклонной поверхности методом частиц [Электронный ресурс] / С. В. Богомолов, Е. В. Захаров, С. В. Зеркаль // Вестник ХНУ. Серия «Математическое моделирование». – 2003. – № 12. – С. 115–119.
13. Зеркаль С. В. Математическое моделирование движения оползней-потоков методом частиц : автореф. на соискание ученой степени докт. г.-м. наук : спец. 05.13.18 / С. В. Зеркаль. – М. : МГУ, 2002. – 14 с.
14. Свалова В. Mechanical-mathematical modeling for sedimentary movement and landslide processes / В. Свалова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://iamg09.stanford.edu/IAMG09%20Abstracts/Vaentina%20Abstract.pdf>.
15. Neuland H. Lehrstuhl für Hydrologie im FB Geowissenschaften Universität Bayreuth [Электронный ресурс] / Herbert Neuland. – Режим доступа : <http://www.sciencedirect.com/science>.
16. Эглит М. Э. Неуставившиеся движения в руслах и на склонах / М. Э. Эглит. – М. : МГУ, 1986. – 96 с.

УДК 346.1:371.31

Большаков А. П., Якубов Ф. Я., Абдулгасис У. А.

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ПОДГОТОВКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ ИНЖЕНЕРОВ

Вказується на необхідність посилення підготовки майбутніх інженерів до конкурентної боротьби у контексті взятого курсу Президента та Уряду України на модернізацію економіки держави. Особлива увага приділяється психологічній підготовці студентів упродовж усього періоду навчання при вивченні усіх дисциплін. Розглядається інноваційний потенціал посилення підготовки конкурентоздатних інженерів, який варто використовувати при вивченні курсів «Конкуренція», «Основи наукових досліджень», «Основи технічної творчості» та «Патентознавство».

Ключові слова: конкуренція та конкурентоздатність, психологічна підготовка, наукові дослідження, технічна творчість, патентознавство.

Отмечается необходимость усиления подготовки будущих инженеров к конкурентной борьбе в свете взятого курса Президентом и Правительством Украины на модернизацию экономики государ-

ства. Обращается внимание на психологическую подготовку студентов в течение всего периода обучения. Рассматривается инновационный потенциал подготовки конкурентоспособных инженеров, который следует использовать при изучении курсов «Конкуренция», «Основы научных исследований», «Основы технического творчества» и «Патентоведение».

Ключевые слова: конкуренция и конкурентоспособность, психологическая подготовка, научные исследования, техническое творчество, патентоведение.

The article deals with the reinforcement necessity of prospective engineers preparation within the contemporary competitiveness referring to the economically modernized course organized by the President and the Government of Ukraine. The special emphasis is put onto the psychological student preparation during the whole studying period. The innovation potential of competitive engineers preparation is also taken into account, which requires to be used when studying the following courses «Competitiveness», «Scientific Research Fundamentals», «Technical Creativity» and «Patent Studying Fundamentals».

Key words: competition and competitiveness, psychological preparation, scientific researches, technical creativity, patent studying.

Постановка проблемы. Атрибутом рыночной экономики, характерной для Украины, является конкуренция. Эффективное участие в конкуренции является обязательным и необходимым условием стабильного функционирования любого субъекта хозяйствования. Вузы призваны готовить высококвалифицированных и к тому же конкурентоспособных специалистов, стремящихся постоянно к созданию и внедрению новых наукоемких инноваций путем преобразования накопленного в вузе интеллектуального потенциала в коммерческий продукт. Таких специалистов предложено [1] называть специалистами новой генерации.

Анализ публикаций. Вопросу повышения конкурентоспособности будущего инженера посвящается все больше работ. В украинских публикациях перечисляются общие требования к специалистам современных конкурирующих производств. Инновации в учебном процессе в связи с этим должны быть направлены на формирование четырех качеств личности: креативность, компетентность, коммуникативность, высокая нравственность. Но в этих публикациях слабо освещены конкретные рекомендации достижения этих качеств у будущих специалистов [2].

Цель данной статьи – на примере анализа четырех дисциплин показать, что вузы обладают значительным инновационным потенциалом повышения конкурентоспособности будущих инженеров; (необходимость использования этого потенциала усугубляется задачей быстрой модернизации экономики государства, поставленной Президентом и Правительством Украины).

Изложение основного материала. Психологическая подготовка будущих инженеров к конкурентной борьбе заключается в формировании у студентов мотивации обязательности и даже неизбежности участия в будущей работе в конкурентной борьбе. Преуспевающим в этой

борьбе фирмам свойственно устойчивое функционирование, достойные заработки и уверенность в завтрашнем дне сотрудников. Эти фирмы комплектуют персонал из творческих, высококвалифицированных специалистов, осознающих, что единственным способом повышения конкурентоспособности является активное творческое выполнение своих обязанностей всеми работниками фирмы, постоянно добивающихся повышения всех показателей.

Главной функцией инженера на производстве в условиях конкуренции является не только выполнение плана, как это было при командно-административной системе управления, но, более важно, повышение качества, улучшения технических характеристик, расширение ассортимента и многое другое, обеспечивающее повышение потребительных свойств продукции и усиление конкурентоспособности. Отставание в этом от других стран, в том числе зарубежных, неминуемо приведет к утрате своих позиций на рынке, заканчивающееся банкротством. Это было характерным для Украины в последнее время, когда на внутренний рынок хлынули более конкурентоспособные импортные товары. Примером такой участи является завод по производству телевизоров «Фотон», в результате распада которого лишились работы около 2 тыс. человек.

Творческое участие инженеров в конкурентной борьбе способствует не только устойчивой работе фирмы, а является еще и источником дополнительных доходов. Взятый курс на модернизацию экономики нельзя реализовать, не используя творческого потенциала всех работающих. Для этого необходимо стимулировать рационализаторскую и изобретательскую деятельность. В этом отношении показателен опыт Японии, в которой действует хорошо продуманная действующая система стимулирования творческой деятельности. Среднегодовое возна-

граждение составляет 466 йен, а максимальное – 1,8 тыс. долларов. Активным участникам творчества гарантировано продвижение по службе и рост заработной платы. В США также активно стимулируется рационализаторская и изобретательская деятельность. В фирме «IBM» за 10 лет выплачено вознаграждений на сумму 60 млн. долларов, минимальное вознаграждение составляет 50 долларов, максимальное – 10 тыс. долларов [3]. За рационализаторские предложения в течении двух лет выплачивается 25% от чистой прибыли.

Психологическая подготовка инженеров к конкурентной борьбе должна быть направлена на повышение уверенности у студентов в своих творческих способностях. Существует стойкое мнение о том, что изобретательство – это удел особо одаренных личностей, наделенных «искрой божьей». И это мнение создает непреодолимый барьер для вовлечения в техническое творчество молодежи. Но психологами доказано, что большинство людей обладают творческими способностями, которые развиваются вместе с развитием интеллекта. Максимум творческих способностей приходится на 13–15 лет, после чего они начинают угасать, если не принимать мер к их дальнейшему развитию. Вовлечение в активную конкурентную борьбу как раз способствует этому развитию.

Следует иметь в виду, что конкуренция является по существу борьбой нового со старым, и поэтому современному инженеру необходимо быть настойчивым и даже смелым.

Психологическая подготовка инженеров к конкурентной борьбе не может быть одноактным процессом при освоении основ технического творчества. Эта подготовка должна осуществляться на протяжении всего периода обучения в вузе. При изучении многих дисциплин необходимо находить место для иллюстрации проявления конкуренции в сегодняшних условиях сложных экономических отношений как между фирмами, так и между странами.

Инновационный потенциал подготовки конкурентоспособных инженеров при изучении курса конкуренции. Неотъемлемым свойством рыночной экономики, пришедшей в Украине на смену плановой, является конкуренция между субъектами рынка. Успешность в конкуренции зависит от конкурентоспособности каждого субъекта по отношению к другим. Оценка этого свойства может быть высокой, средней и низкой [4]. Более того конкурентоспособность товара, фирмы, отрасли рассчитывается по соответствующей методике [5].

Конкуренция стимулирует, точнее, принуждает всех товаропроизводителей повышать по-

требительские свойства своей продукции, что является необходимым условием сохранения своего положения на рынке, а значит и стабильное функционирование товаропроизводителя. По конкурентоспособности очень многие товары украинских производителей значительно отстают от развитых государств, о чем наглядно свидетельствуют полки украинских магазинов, переполненные импортной техникой при отсутствии многих видов техники украинского производства. Об этом же свидетельствует и рейтинг по индексу глобальной конкуренции Украины, занимающий по данным *World Economic Forum* (МЭФ) в 2006–2007 гг. 78 позицию [6].

Курс на модернизацию Украины ставит своей целью повышение эффективности экономики, повышение ее конкурентоспособности. В реализации этого курса должны участвовать все структуры государства и все хозяйствующие субъекты, вплоть до малых фирм и каждого специалиста.

Повышение конкурентоспособности продукции является прямой обязанностью каждого инженера, к которому предъявляется дополнительное требование – быть не только высококвалифицированным, но также конкурентоспособным. Безусловно, конкурентоспособный инженер должен хорошо знать основы конкуренции, все способы повышения конкурентоспособности, тем более что конкурентоспособность – это одна из сложнейших многоаспектных экономических понятий, которая динамично развивается, подвергаясь постоянным изменениям [7]. Учитывая, что конкурентоспособность зависит от множества различных факторов, каждый инженер должен постоянно интересоваться динамикой изменения конкурентоспособности выпускаемой продукции и вносить конкретные предложения по ее повышению. Особо важно это при работе в малых фирмах, ограниченных денежными ресурсами, не имеющих возможности использовать высококвалифицированных менеджеров [8]. Для многих молодых инженеров такие фирмы могут быть первым местом работы, и в вузе они должны получить основательные знания по повышению конкурентоспособности продукции, а также по конкурентному праву [9]. При изучении этой дисциплины обращается внимание на связь конкурентоспособности продукции со стабильностью фирмы и достойным заработком.

К четвертому году обучения все студенты знают, что для повышения конкурентоспособности продукции необходимо или снижать ее цену (ценовая конкуренция) или повышать качество (неценовая конкуренция), а лучше одновременно и то, и другое. В литературе постоянно отме-

чается, что снижение цены осуществляется увеличением масштаба производства, что следует считать правильным лишь отчасти. Теперь и снижение цены, и улучшение качества, в первую очередь, зависят от научно-технического уровня производства: степени совершенствования существующих технологий, внедрения новейших технологий, разработанных с использованием новых научных открытий и изобретений.

Большое значение в конкуренции имеет дифференциация продукции, повышение ее технического уровня и любые мероприятия по экономии материальных, энергетических и трудовых ресурсов. Все это должно быть в поле зрения современного инженера.

Требования к инженерам зависят от осуществляемой фирмой стратегии конкуренции. Выделяют четыре стратегии конкуренции [4; 5].

Виолетная (силовая) стратегия типична для крупных фирм, выпускающих жизненно необходимую стандартную продукцию массового спроса. Известность фирм обеспечивает стабильность работы и уверенность в будущем. Конкурентная стратегия заключается в снижении цены путем увеличения масштабов производства. Непрерывно осуществляется дифференциация продукции: расширение ассортимента, моделей. Выпускается также побочная продукция из отходов или с использованием свободного оборудования. Проводятся обширные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы с целью улучшения технологии и качества продукции с доведением ее до совершенства. Но радикальные инновации крайне затруднительны из-за сложности поточного производства и громоздкости управления, и любые просчеты приводят к большому проигрышу в конкуренции. К инженерам предъявляются высокие требования по квалификации и способности быстро выполнять опытно-конструкторские работы по усовершенствованию технологии и продукции и освоению новых видов продукции.

Пациентная (нишевая) стратегия является наиболее эффективной. Она направлена на дифференцирование продукции: выпуск нестандартной специализированной и поэтому дорогой продукции высокого качества, ориентированной на узкий требовательный сегмент рынка, не ограниченный в финансах. Этот сегмент рынка не интересует крупные фирмы, что ограждает от острой конкуренции. Требования к инженерам при этом очень высокие: широкая компетентность и любознательность, развитое воображение, умение выполнять глубокие научные исследования и владеть методами изобретательства.

Эксплерентная (пионерская) стратегия характерна для немногочисленных средних и малых фирм. Она направлена на радикальные нововведения и заключается в создании принципиально новых, чаще наукоемких товаров с целью сформировать у потребителя новые потребности. Эта стратегия приобретает распространение в постиндустриальную эпоху, отличающуюся тем, что в развитии экономики все большее значение приобретает реализация интеллектуально-научно-технического потенциала в коммерческую продукцию. Для осуществления этой стратегии кроме наличия современных лабораторий, оборудования и достаточных ресурсов, необходимы особые качества у руководителя и ведущих сотрудников: энтузиазм, смелость решений и новаторский стиль работы, высокая предпринимательская хватка, богатое воображение, обширные и глубокие знания, умение вести всесторонние исследования и решать сложные изобретательские задачи. Кроме того, необходима готовность пойти на риск, т. к. нередко успех даже одного проекта покрывает все неудачи.

Коммутантная (приспособленческая) стратегия характерна для многочисленных малых фирм, в которых занято до 50% всех работающих. Эти фирмы с самого возникновения находятся в острой конкурентной борьбе с такими же мелкими, а также крупными фирмами. Малые фирмы не имеют научно-технических заделов, современного сложного оборудования и высоких технологий. Поэтому в них не производят сложных товаров. Конкурентная стратегия заключается в чутком реагировании на изменение в конъюнктуре рынка и быстрой перестройке на выпуск новой простой продукции, рассчитанной нередко на кратковременный спрос. Гибкость деятельности обеспечивается независимостью и эффективностью управления небольшим и несложным производством, быстротой решения возникающих проблем мастерством персонала. Эти особенности и обуславливают требования к инженеру, главные из которых широкий кругозор и большая активность.

Знание условий работы в фирмах с разной стратегией конкуренции необходимо для определения направления приложения сил при обучении будущей инженерной деятельности.

Инновационный потенциал подготовки конкурентоспособных инженеров к овладению основных научных исследований. В конкурентной борьбе между производителями все более возрастает значение наукоемкой продукции и технологий. Все крупные фирмы имеют в своем составе научно-исследовательские подразделения постоянно подготавливающие инновации на основе трансформации интеллектуального по-

тенциала в коммерческий продукт, который в более полной мере обеспечивает потребности рынка и опережает в этом отношении ближайших конкурентов. Затраты на научно-исследовательские работы в фирмах-гигантах достигают громадных величин: в 2002 г. «Форд Моторс» истратил \$7,2 млрд., «Дженерал Моторс» – \$5,4 млрд., «Тойота Моторс» – \$4,6 млрд. [10].

Подготовка студентов к научно-исследовательской работе возложена на курсы основы научных исследований. Научные исследования часто имеют теоретическую направленность. Сложность и трудоемкость исследований из-за ограниченности времени не всегда приводит к получению окончательных результатов, что притупляет интерес к этим исследованиям. Студентам же со средней подготовкой они вообще не по силам.

Интерес студентов к исследовательской работе повышается, если исследования имеют конкретную практическую направленность и позволяют получить результаты за отведенное время. Этим требованиям отвечают многие задачи по повышению конкурентоспособности продукции, решаемые фирмами в конкурентной борьбе.

Таким образом, увязывая тематику научных исследований с задачами, решаемыми конкурирующими фирмами, с одной стороны, повышается заинтересованность студентов к исследовательской работе, а с другой, способствует формированию конкурентоспособного инженера.

Инновационный потенциал подготовки конкурентоспособных инженеров при овладении основами технического творчества. Государство с высоким рейтингом по индексу глобальной конкуренции обычно отличается высокой изобретательской продуктивностью. Так, рейтинг по индексу глобальной конкуренции США в 2008 г. самый высокий, и количество выданных патентов от общего количества выданных в мире (466147) составляет 49%. Япония занимает по этому рейтингу 8 позицию, количество выданных патентов – 23%. Украина имеет рейтинг по индексу глобальной конкуренции 73, количество выданных патентов – меньше 1% [11].

Следует отметить массовость технического творчества в Японии, которая, безусловно, способствовала столь стремительному техническому прогрессу страны. На одного служащего в Японии приходится 13 усовершенствующих предложений в год, а в фирме «Мацусита Электрикал» – 30 предложений [3, с. 36].

Таким образом, изобретательство является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности продукции и страны в целом. Обу-

чению изобретательства будущих инженеров необходимо уделять повышенное внимание.

Большинство изобретателей считают, что их способностей и знаний достаточно для создания изобретений и без использования какой-либо методики. При решении изобретательской задачи выдвигается один за другим множество вариантов, из которых выбирается один наиболее верный по мнению изобретателя. Использование этого способа, получившего название метода проб и ошибок, опытными высококвалифицированными специалистами достаточно продуктивно. Но в настоящее время необходимо включить в изобретательскую деятельность, по возможности, всех инженеров, которые не имеют ни опыта, ни высокой квалификации. Поэтому освоение ими современной методики изобретательства является актуальной задачей [12].

Известно более 40 методов изобретательства, практически не имеющих строгого теоретического обоснования, по существу являющихся методами психологической активизации генерирования возможно большого количества вариантов решения изобретательской задачи, из которых один выбирается как наиболее приемлемый. Базовыми методами можно считать мозговой шторм, методы фокальных объектов, морфологического ящика, контрольных вопросов. Мозговой шторм пригоден для несложных задач, и в основном, не технических: создание новых отличающихся дизайном промышленных образцов, планировка зон отдыха, парков, реклама и т. д. Метод фокальных объектов позволяет быстро выдвинуть много вариантов оформления технических объектов. Метод морфологического ящика является наиболее сильным, применяется при конструировании новых машин, приспособлений и т. д. Методы контрольных вопросов, по существу являющиеся подсказками, заключается в составлении ответов на поставленные вопросы, а также дает рекомендацию, что еще можно сделать при поиске решения задачи.

Единственным теоретически обоснованным методом изобретательства является алгоритм решения изобретательских задач, основанный на теории решения изобретательских задач, разработанной Г. С. Альтшуллером [13]. В основе этого метода лежат выявленные объективные законы развития технических систем. Учитываются также психологические факторы, используются знания по физике, химии, геометрии. При решении задачи по этой методике изобретатель постепенно приближается к методике решения без выдвигания бесконечного числа случайных вариантов. Творческое применение знаний необходимо лишь при определении окончательного ответа, близкого к идеальному. Конеч-

но, при обучении техническому творчеству главное внимание необходимо обращать на изучение ТРИЗ и решение задач с использованием АРИЗ по сокращенному варианту [14].

Как показал опыт, обучение техническому творчеству на последних курсах не приводит к ожидаемым результатам, т. к. студенты изучили к этому времени почти все специальные дисциплины и считают себя уже подготовленными инженерами. И вдруг их начинают обучать чему-то новому, без чего можно обойтись в будущей работе. Да и требования при этом какие-то необычные – студенты со школьной скамьи понимают обучение как получение и заучивание бесконечного количества новых знаний и их «механическое» использование по готовым рецептам с получением результатов, близких к типовым.

А здесь надо самому предложить идеи решения изобретательских задач без конкретных указаний, да еще требуется использовать знания по всем другим дисциплинам, изученным даже в школе. К тому же курс по основам технического творчества небольшой и оканчивается обычным зачетом без экзамена, что не внушает студентам серьезного отношения к нему.

Необходимую результативность обучения техническому творчеству, по мнению авторов, следует ожидать, если эта дисциплина будет изучаться в первом семестре первого курса, когда вчерашние абитуриенты, осуществившие свою мечту стать студентами, с нетерпением ждут от вуза чего-то нового, особенного, отличающегося от школы и полны желанием изучать это новое в полную силу. Техническое творчество хорошо отвечает этим устремлениям. Эта дисциплина требует не только усвоения новых знаний, но и их самостоятельного творческого использования, что позволяет проявить свои способности, свою индивидуальность, самоутвердиться и ощутить себя будущим творцом технического прогресса и активным участником в конкурентной борьбе.

Необходимо также, чтобы при изучении всех, в особенности специальных, дисциплин, всегда обращалось внимание на применение полученных знаний в создании технических новшеств. Рекомендуются приучать, при этом критически оценивать новые сведения и давать по всем темам альтернативные, в том числе неординарные варианты их использования с включением любых знаний с тем, чтобы за последующие три года обучения приучать студентов творчески подходить к своим обязанностям, чтобы творческий стиль работы, необходимый при конкуренции, стал внутренней потребностью.

Инновационный потенциал подготовки конкурентоспособного инженера при изучении патентоведения. При решении многих, в том числе спорных вопросов, возникающих в конкурентном соперничестве, требуются знания по промышленной интеллектуальной собственности, приобретаемые при изучении курса патентоведения. Объекты интеллектуальной собственности приобретают все возрастающее значение. В 1990 г. развитые страны получили выручку от продаж лицензий на внешних рынках примерно на \$21 млрд., получив прибыль \$16 млрд., что эквивалентно вывозу и продаже товаров на \$160 млрд., исходя из 10%-ой прибыли [15].

К интеллектуальной промышленной собственности относятся патенты на изобретения и промышленные образцы, декларационные патенты на полезные модели, свидетельства на знаки для товаров и услуг, а также ноу-хау. Требования к этим объектам, порядок их получения и многие другие вопросы излагаются в соответствующих законах Украины [16–18]. Ниже с использованием опубликованных данных рассматриваются некоторые вопросы по интеллектуальной собственности, имеющие в практике большое значение [19].

Основное назначение патента – охранять право владельцев на него. Тем не менее, эти права нарушаются довольно часто. Реализация изобретения в конкретный товар раскрывает сущность изобретения для широких масс. Это является хорошей рекламой для продажи лицензии. Но при этом создаются условия для несанкционированного использования изобретения, особенно если имеются даже небольшие промахи в составлении формулы изобретения и его описании, позволяющие использовать изобретение в обход. Отсюда ясна необходимость тщательности профессиональной подготовки материалов заявки на изобретение. Другим практикуемым способом защиты изобретения на техническое устройство является подкрепление его мелкими зависимыми изобретениями, опоясывающими ключевые изобретения неприступной стеной.

Наибольшую ценность представляют технологические изобретения, являющиеся самым выгодным и престижным изобретательным товаром. Они менее подвержены несанкционированному использованию, особенно если содержат ноу-хау. Патенты с ноу-хау в конце 70-х гг. покупались в 70% случаев. При этом выплаты за патент с ноу-хау превышает выплаты за патент без него в среднем в 4 раза [15].

Практически патент «живет» в среднем шесть-восемь лет, что соответствует периоду

активной разработки товара-преемника, составляющего пять–семь лет. За этот срок необходимо подготовить к продаже другой более востребованный товар, чтобы сохранить свое положение на рынке.

При разработке нового товара всегда представляют интерес запатентованные изобретения, которые необходимо тщательно изучить и при необходимости закупить лицензии. Это позволяет сократить финансы и время на разработку товара. Чтобы не пропустить новейшие изобретения, необходим оперативный систематический просмотр бюллетеня по промышленной собственности, при котором обращается внимание также на заявки на изобретения. Затягивание с просмотром бюллетеня и приобретения лицензии может привести к потере конкурентных преимуществ. В справочном отделе бюллетеня можно найти много других сведений, представляющих интерес при разработке и внедрении новой продукции [16, с. 20].

При работе с бюллетенями определяется также патентная чистота выпускаемой продукции, означающая отсутствие в ней запатентованных другим лицом технических решений. Для установления патентной чистоты продукции, предназначенной для Украины, достаточно изучить лишь бюллетень «Промислова власність». Если продукция будет направлена на внешний рынок, то патентная чистота устанавливается по тем странам, куда будет экспортироваться продукция. Операции по определению патентной чистоты очень трудоемки, но на них надо идти, чтобы не допустить нарушений исключительных прав патентовладельцев, которые неминуемо постараются воспользоваться промахом. Лучше определить патентовладельца и купить лицензию по договору с ним.

Немаловажно также, что при патентном поиске становится ясным мировой уровень и общие тенденции развития данного вида техники. Попутно расширяется технический кругозор, активизируется творческая мысль, что способствует возникновению новых идей.

Перечисленные задачи, решаемые при патентных исследованиях, показывают насколько важно знать и уметь пользоваться патентными сведениями конкурентоспособному инженеру. Но, к сожалению, патентные фонды теперь отсутствуют в большинстве технических вузах, что затрудняет обучение. Замена их интернетом лишь частично решает эту задачу.

Выводы. Курс Украины на модернизацию страны и повышение конкурентоспособности экономики обязывает повысить внимание на подготовку высококвалифицированных конкурентоспособных инженеров. С этой целью ре-

комендуются следующие инновации в учебном процессе:

- 1) неотъемлемой составной частью подготовки высококвалифицированного инженера считать одновременное повышение конкурентоспособности, заключающееся в глубоком изучении раздела конкуренции в курсе экономики, овладении научными исследованиями, приобретении навыков изобретательства и получении необходимых знаний по патентоведению;
- 2) на занятиях по большинству дисциплин психологически подготавливать студентов к обязательному и даже неизбежному участию в конкурентной борьбе в будущей деятельности;
- 3) расширить и углубить изучение раздела «Конкуренция» в курсе экономики в тесной увязке с основами научных исследований, основами изобретательства и патентоведения;
- 4) повысить статус дисциплины «Основы изобретательства» до основных, с включением контрольных работ и экзамена и перенести изучение этой дисциплины на первый семестр первого курса;
- 5) ввести в курсовые и дипломные проекты кратко изложенные творческие альтернативные решения поставленных задач, в дипломный проект ввести заявку на изобретение, либо на полезную модель или промышленный образец;
- 6) обеспечить библиотеки вузов современными учебниками по изобретательству и патентоведению, создать патентный фонд и постоянно пополнять его бюллетенями «Промислова власність».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю. М. Роль дисциплін з інтелектуальної власності при підготовці спеціалістів нової генерації / Ю. М. Кузнецов, Д. Е. Бенатов // Інтелектуальна власність. – 2001. – № 12. – С. 529–532.
2. Федорова Е. А. Конкурентоспособность вузов / Е. А. Федорова // Высшее образование сегодня. – 2008. – № 11. – С. 43–43.
3. Прахов Б. Процесс рационализации и его использование / Б. Прахов // Интеллектуал. – 2006. – № 3. – С. 36–37.
4. Портер М. Конкуренция / Майкл Портер. – М. ; СПб ; К. : Вильямс, 2006. – 602 с.
5. Должанский И. З. Конкурентоспроможність підприємства / І. З. Должанський, Т.О. Загорна. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 381 с.
6. Тарнавская Н. Новейшие проявления конкуренции в обществе, основанные на знаниях / Н. Тарнавская // Экономика Украины. – 2008. – № 2. – С. 4–16.
7. Маложавенко В. Л. Конкурентоспособность университетского комплекса / В. Л. Маложавенко //

- Высшее образование сегодня. – 2009. – № 12. – С. 52.
8. Большаков А. П. Адаптация инженерного образования к малому бизнесу / А. П. Большаков // Таврійський вісник освіти : науково-методичний журнал. – 2010. – № 2. – С. 65–74.
 9. Удалов Т. Г. Конкурентне право : навчальний посібник / Т. Г. Удалов. – К. : Видавництво «Школа», 2004. – 496 с.
 10. Волинський Г. Про конкурентні переваги в умовах глобалізації / Г. Волинський // Економіка України. – 2006. – № 12. – С. 68–72.
 11. Нові рекорди в галузі патентування // Інтелектуальна власність. – 2009. – № 3. – С. 72–73.
 12. Большаков А. П. Обучение изобретательству как обязательный компонент технического образования / А. П. Большаков, У. А. Абдулгасис, А. У. Абдулгасис // Инновационные технологии в образовании : материалы второй международной научно-практической конференции. – Симферополь, 2005. – С. 35–37.
 13. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М. : Советское радио, 1979. – 174 с.
 14. Большаков А. П. Основы теории изобретательства / А. П. Большаков, Ч. Ф. Якубов, А. У. Абдулгасис, Э. Р. Ваниев. – Симферополь : Крымнавчпеддержвидав, 2007. – 189 с.
 15. Сохтаев М. К. Экономика предпринимательства / М. К. Сохтаев. – Симферополь : Крымнавчпеддержвидав, 2005. – 376 с.
 16. Закон України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі».
 17. Закон України «Про охорону прав на промислові зразки».
 18. Закон Украины «Об охране прав на знаки для товаров и услуг».
 19. Дахно И. И. Патентно-лицензионная работа / И. И. Дахно. – К. : Блиц-информ, 1996. – 256 с.
 20. Силин А. А. На тропе в будущее / А. А. Силин. – М. : Знание, 1989. – 200 с.
 21. Большаков А. П. Патентные исследования в конкурентном соперничестве / А. П. Большаков, У. А. Абдулгасис // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Выпуск 24. Технические науки. – Симферополь : НИЦ КИПУ, 2010. – С. 79–83.

УДК 621.38

Морква С. С.

ОПИС ДЕЯКИХ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ ЯВИЩ НА ОСНОВІ СТРУМУ ЗМІЩЕННЯ

У статті розглядається підхід до опису різних електродинамічних явищ, що відбуваються в конденсаторі, підключеного до джерела змінної напруги. Показано, що використання поняття струму зміщення дозволяє пояснити механізм протікання змінного струму через конденсатор, знайти значення ємнісного опору, обґрунтувати зсув фаз, обчислити енергію електромагнітного поля конденсатора, визначити носія енергії струму.

Ключові слова: електричний струм, струм зміщення, електротехнічні явища.

В статье рассматривается подход к описанию различных электродинамических явлений, происходящих в конденсаторе, который подключенный к источнику переменного напряжения. Показано, что использование понятия тока смещения позволяет объяснить механизм протекания переменного тока через конденсатор, найти значение емкостного сопротивления, обосновать сдвиг фаз, вычислить энергию электромагнитного поля конденсатора, определить носителя энергии тока.

Ключевые слова: электрический ток, ток смещения, электротехнические явления.

The article deals with the approach to the description of various electrodynamic phenomena occurring in the condenser connected to an alternating voltage source. Demonstrated the use of the current of displacement concept allows to explain the mechanism of alternating current going through the condenser, clarify the value of the capacitance, prove the shift of phases, calculate the energy of the electromagnetic field of the condenser and define the current energy carrier.

Key words: electric current, displacement current, electrotechnical phenomena.

Постановка проблеми. Одна із цілей професійної підготовки майбутніх інженерів полягає в опануванні студентами основними положеннями фундаментальних фізичних теорій та формування на цій основі адекватного уявлення реальних електротехнічних процесів.

Аналіз літератури. У електротехніці існує ряд задач і прикладів, пояснення яких пов'язане

з різною фізичною інтерпретацією одного і того ж явища [1; 2], зокрема, фізичних процесів, що відбуваються у конденсаторі, підключеного до джерела змінного струму.

Так, при поясненні зсуву фаз між струмом і напругою на конденсаторі в схемі, яка зображена на рис. 1, використовується очевидні співвідношення.

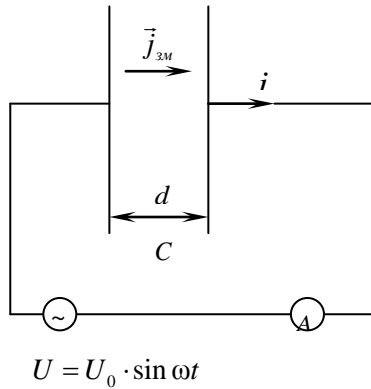


Рис. 1. Зсув фаз між струмом та напругою.

Оскільки величина заряду на пластині конденсатора $q = CU \sin \omega t$, то сила струму, який протікає через конденсатор, дорівнює:

$$i = \frac{dq}{dt} = CU_0 \omega \cos \omega t = \frac{U_0}{1/\omega C} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right). \quad (1)$$

І подальші фізичні пояснення відсутні, при цьому, як правило, іде посилання на дослідні факти.

Мета статті – описати деякі електродинамічні явища на основі струму зміщення.

Викладення основного матеріалу. З фізичної точки зору і зсув фаз між струмом і напругою й механізм протікання струму через конденсатор і інші фізичні характеристики процесу в схемі на рис. 1 можуть бути пояснені на основі властивостей струму зміщення. Цей підхід описаний у праці [2; 3], і далі ми послідовно його розкриємо.

Поняття струму зміщення як характеристики змінного електричного поля, що породжує магнітне, було введено Максвеллом.

Задача 1. Нехай плоский конденсатор з обкладками у вигляді дисків радіуса a і ємністю C підключений до джерела змінної напруги $U = U_0 \sin \omega t$. Знайти: а) струм, що протікає через конденсатор; б) ємнісний опір конденсатора; в) магнітне поле між пластинами конденсатора.

Будемо вважати, що між пластинами знаходиться немагнітний діелектрик ($\mu = 1$) з діелектричною проникністю ϵ (рис. 2).

Оскільки $U(t) = U_0 \sin \omega t$, то електричне поле між пластинами конденсатора змінюється за гармонійним законом:

$$E = E_0 \sin \omega t,$$

де ω – циклічна частота;

E_0 – амплітудне значення напруженості електричного поля між пластинами конденсатора.

Тоді густина струму зміщення в кожній точці простору між пластинами конденсатора дорівнює:

$$\epsilon \epsilon_0 \frac{\partial E}{\partial t} = \epsilon \epsilon_0 E_0 \omega \cos \omega t.$$

А сила струму зміщення, який протікає через конденсатор, дорівнює:

$$\begin{aligned} i_{\text{зм}} &= \int_S \vec{j}_{\text{зм}} d\vec{S} = \epsilon E_0 \epsilon_0 \omega \cos \omega t \pi a^2 \frac{d}{d} = \\ &= dE_0 C \omega \cos \omega t = \frac{U_0}{1/\omega C} \cos \omega t = \\ &= \frac{U_0}{R_c} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

де d – відстань між пластинами конденсатора;

$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \pi a^2}{d}$ – ємність плоского конденсатора.

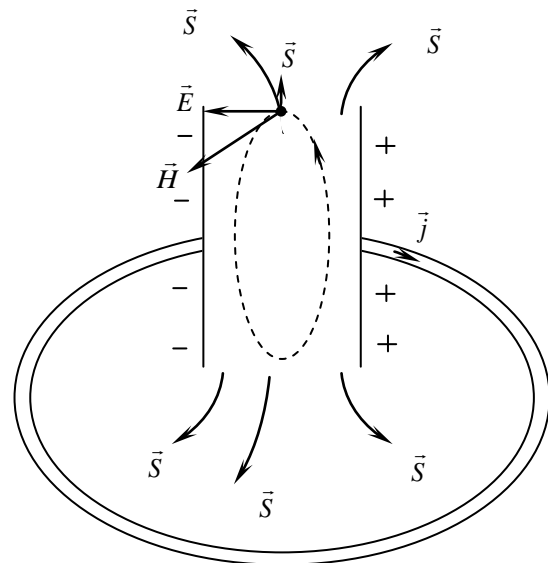


Рис. 2. Електричне поле між пластинами конденсатора.

Отже, виходячи із (2), $R_c = 1/\omega C$ являється ємнісним опором конденсатора, а струм, що протікає через конденсатор, випереджає напругу на ньому на кут $\pi/2$. Явище протікання змінного струму через конденсатор зумовлене повністю струмами зміщення і амперметр вимірює силу струму зміщення.

Тобто, наведені розміркування показують, яким самим способом відбувається протікання струму через конденсатор. При цьому магнітне поле в кожній точці об'єму конденсатора знаходиться з допомогою рівняння Максвелла для струмів зміщення [4, с. 70].

Задача 2. З'ясувати сутність процесу розрядки конденсатора.

Задача про розрядження конденсатора в традиційній методиці описується II законом Кірхгофа, але без особливих фізичних пояснень. З точки зору польових уявлень цей процес розрядки зумовлений міграцією енергії поля із об'єму конденсатора в зовнішній простір, а потім втіканням її в провідник, яким закорочено пластини конденсатора [4, с. 170].

При розрядці конденсатора енергія електромагнітного поля витікає із конденсатора, розповсюджується в просторі і «вливається» в провідник, яким з'єднані диски конденсатора.

Можна впевнитися, що при розряджанні конденсатора потік вектора Пойнтінга із об'єму конденсатора дорівнює початковій енергії зарядженого конденсатора [4, с. 171]:

$$W_{\text{ен}} = Vw_{\text{ен}} = \frac{q_0^2}{2C},$$

де $w_{\text{ен}} = \frac{\vec{E}\vec{D}}{2}$ – об'ємна густина енергії електричного поля;

$V = Sd$ – об'єм конденсатора.

Використовуючи закон збереження заряду

$$\int_S \vec{j}d\vec{S} = -\frac{\partial q}{\partial t}$$
 знаходиться залежність $q(t)$:

$$q(t) = q_0 \exp\left(-\frac{t}{CR}\right). \quad (3)$$

Оскільки, миттєве значення вектора Пойнтінга однакове в кожній точці поверхні циліндричного провідника, яким закорочені диски конденсатора:

$$S = EH = \frac{j}{\lambda} \times \frac{i}{2\pi r_0} = \frac{i^2(t)}{2\pi r_0 \lambda \pi r_0^2},$$

де $i(t) = -\frac{dq}{dt} = \frac{q_0}{CR} \exp\left(-\frac{t}{CR}\right)$, то потік енергії електромагнітного поля всередину дроту за час dt дорівнює:

$$dW_{\text{ем}}(t) = S \times 2\pi r_0 l \times dt = \frac{i^2(t)}{2\pi r_0 \lambda \pi r_0^2} \times 2\pi r_0 l \times dt = \frac{i^2(t) \times l}{\lambda \pi r_0^2} \times dt = i^2 R \times dt.$$

Нарешті для повного потоку вектора Пойнтінга через поверхню дроту за весь час розрядки конденсатора одержуємо:

$$W_{\text{ем}} = \int_0^{\infty} dW_{\text{ем}}(t) = \int_0^{\infty} \frac{i^2(t)l}{\lambda \pi r_0^2} dt = \int_0^{\infty} \frac{\left(\frac{q_0}{CR} \exp\left(-\frac{t}{CR}\right)\right)^2 l}{\lambda \pi r_0^2} dt = \frac{\left(\frac{q_0}{CR}\right)^2}{\lambda \pi r_0^2} l \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{CR}} dt = \frac{\left(\frac{q_0}{CR}\right)^2}{\lambda \pi r_0^2} l \left(-\frac{RC}{2} \cdot e^{-\frac{t}{CR}}\right)_0^{\infty} = \frac{q_0^2}{2C}.$$

Висновки. Традиційні описи зазвичай не пояснюють механізм і природу явищ, але підтверджуються дослідами та досвідом, мовою величин, що експериментально безпосередньо вимірюються: сили струмів, напруги, активні опори. Розгляд електротехнічних явищ із застосуванням поняття «струм зміщення» дозволяє пояснити ряд явищ:

1) пояснити механізм протікання змінного струму через конденсатор, знайти значення

ємнісного опору, обґрунтувати зсув фаз, а головне з'ясувати, що саме вимірюється у цьому випадку амперметром: оскільки струм зміщення $i_{\text{зм}} = \int_S \vec{j}_{\text{зм}} d\vec{S}$ між пластинами конденсатора замикається струмом провідності, то амперметр вимірює, власне кажучи, величину струму зміщення [3; 5];

2) енергія зарядженого конденсатора $We = q_0^2/2C$ у процесі його розрядки, витікає із конденсатора, розповсюджується в просторі і «вливається» в провідник, яким з'єднані диски конденсатора. Причому, в кожен мить в провіднику виділяється кількість теплоти $i^2(t)R$, яка дорівнює потоку енергії електромагнітного поля (потоку вектора \vec{S}) через поверхню дроту. А сумарний потік енергії електромагнітного поля, що вливається в провідник, за час розрядки конденсатора дорівнює початковій енергії зарядженого конденсатора. Енергія електромагнітного поля, як свідчать аналіз задачі і розрахунки, розповсюджується не провідником, а у просторі.

3) носієм енергії струму являється електромагнітне поле, яке локалізоване як в провіднику так і в оточуючому його просторі, а не носії струму.

Таким чином, застосований у роботі підхід до опису реальних електротехнічних явищ дозволяє пояснити механізми, що відбуваються у конденсаторі, підключеному до джерела змінного струму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайдуков Г. Н. Об интерпретации закона сохранения энергии при движении точечного заряда в однородном электрическом поле / Г. Н. Гайдуков, А. А. Абрамов // Успехи физических наук. – 2008. – Т. 178. – № 2. – С. 171–174.
2. Иродов И. Е. Электромагнетизм. Основные законы / И. Е. Иродов. – [4-е изд., испр.]. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 320 с.
3. Коновал О. А. Відносність електричного і магнітного полів : монографічний навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів / О. А. Коновал ; Міністерство освіти і науки України ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2008. – 248 с.
4. Коновал О. А. Основи електродинаміки : навч. посіб для студ. вищ. пед. навч. закл. / О. А. Коновал ; Міністерство освіти і науки України ; Криворізький державний педагогічний університет. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2008. – 347 с.
5. Коновал О. А. Реальність, істина та еквівалентні описи явищ в електродинаміці / О. А. Коновал // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету. Серія педагогічна. Вип. 12. – Кам'янець-Подільський : К-ПДПУ, РВВ, 2006. – С. 117–120.

