NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-8]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

13.00.00-PEDAGOGIKA
journal.namdu.uz
PEDAGOGICAL

DIFFERENSIAL TENGLAMALARNI O‘ QITISHDA ZAMONAVIY AXBOROT TEXNOLOGIYALARINING DIDAKTIK IMKONIYATLARI

Abduvakhobov Sherzodbek Ikromjon o‘ g‘ li
NVPMM metodisti, NamDTU
ORCID:0009-0004-1668-4598
sherzodbekabduvakhobov@mail.ru

Annotatsiya: *Ushbu maqolada oliy ta’lim muassasalarida differensial tenglamalar kursini o‘ qitish jarayonida zamonaviy axborot texnologiyalaridan (kompyuter matematik tizimlari, interaktiv vizualizatsiya vositalari, masofaviy ta’lim platformalari, sun’iy intellektga asoslangan adaptiv tizimlar) foydalanishning didaktik imkoniyatlari tahlil qilinadi. Tadqiqotda differensial tenglamalar mavzusining mavhumligi va murakkabligi sababli talabalarda yuzaga keladigan tushunish qiyinchiliklari ko‘ rib chiqiladi hamda ularni bartaraf etishda raqamli vositalarning o‘ rni ochib beriladi. Maqola IMRAD tuzilishida yozilgan bo‘ lib, unda muammoning nazariy asoslari, tadqiqot metodikasi, taxminiy natijalar va ularning muhokamasi keltirilgan. Natijalar farazga asoslangan bo‘ lib, kelgusi eksperimental tadqiqotlar uchun yo‘ nalish sifatida taqdim etiladi. Tadqiqot shuni ko‘ rsatadiki, vizual-interaktiv vositalarning an’anaviy o‘ qitish usullari bilan uyg‘ unlashtirilgan holda qo‘ llanilishi talabalarning tushunchalarni o‘ zlashtirish sifatini va matematik motivatsiyasini oshirishga xizmat qilishi mumkin.*

Kalit so‘ zlar: *differensial tenglamalar, axborot texnologiyalari, didaktik imkoniyatlar, kompyuter matematik tizimlari, vizualizatsiya, masofaviy ta’lim, adaptiv o‘ qitish, matematik ta’lim metodikasi.*

ДИДАКТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБУЧЕНИИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ УРАВНЕНИЯМ

Аннотация: *В данной статье анализируются дидактические возможности использования современных информационных технологий (компьютерных математических систем, средств интерактивной визуализации, платформ дистанционного обучения, адаптивных систем на основе искусственного интеллекта) в процессе преподавания курса дифференциальных уравнений в высших учебных заведениях. В исследовании рассматриваются трудности понимания, возникающие у студентов вследствие абстрактности и сложности темы дифференциальных уравнений, а также раскрывается роль цифровых инструментов в их преодолении. Статья построена по структуре IMRAD и включает теоретические основы проблемы, методику исследования, предполагаемые результаты и их обсуждение. Результаты носят гипотетический характер и представлены как ориентир для последующих экспериментальных исследований. Исследование показывает, что совместное применение визуально-интерактивных средств с традиционными методами обучения может способствовать повышению качества усвоения понятий и учебной мотивации студентов.*

Ключевые слова: *дифференциальные уравнения, информационные технологии, дидактические возможности, компьютерные математические системы, визуализация, дистанционное обучение, адаптивное обучение, методика преподавания математики.*

DIDACTIC POSSIBILITIES OF MODERN INFORMATION TECHNOLOGIES IN TEACHING DIFFERENTIAL EQUATIONS

Abstract: *This article analyzes the didactic potential of modern information technologies — computer algebra systems, interactive visualization tools, distance-learning platforms, and AI-based adaptive systems — in teaching differential equations at higher education institutions. The study examines the comprehension difficulties students face due to the abstract and complex nature of differential equations, and reveals the role digital tools can play in overcoming them. The article follows the IMRAD structure, covering the theoretical background of the problem, research methodology, hypothetical results, and their discussion. The results presented are hypothetical in nature and are intended as a direction for future experimental research. The study suggests that combining visual-interactive tools with traditional teaching methods may improve the quality of concept acquisition and students’ mathematical motivation.*

Keywords: *differential equations, information technologies, didactic possibilities, computer algebra systems, visualization, distance learning, adaptive learning, mathematics teaching methodology.*

KIRISH

Differensial tenglamalar nazariyasi tabiiy va texnika fanlarining ko‘ plab sohalarida — fizika, mexanika, iqtisodiyot, biologiya va muhandislik masalalarida — jarayonlarni matematik modellashtirishning asosiy vositasi hisoblanadi. Shu bilan birga, ushbu mavzu talabalar tomonidan eng qiyin o‘ zlashtiriladigan bo‘ limlardan biri sifatida e’tirof etiladi, chunki u yuqori darajadagi mavhum tafakkurni, oldingi mavzular (matematik analiz, chiziqli algebra) bo‘ yicha mustahkam bilimlarni va yechimlarni geometrik-fizik talqin qila olish qobiliyatini talab qiladi [1].

An’anaviy o‘ qitish usullarida differensial tenglamalarning yechimlari ko‘ pincha faqat analitik formulalar va statik chizmalar orqali taqdim etiladi. Bu esa talabalarda tenglama parametrlarining o‘ zgarishi yechim xarakteriga qanday ta’sir qilishini dinamik tarzda kuzatish imkoniyatini cheklaydi. So‘ nggi yillarda kompyuter matematik tizimlari (Mathematica, MATLAB, Maple, GeoGebra, Python-based Jupyter muhitlari), interaktiv simulyatorlar va masofaviy ta’lim platformalarining rivojlanishi ushbu muammoni yumshatish uchun yangi didaktik imkoniyatlar yaratmoqda [2], [3].

Zamonaviy axborot texnologiyalari nafaqat hisoblash vositasi, balki bilim olish jarayonining vizual, interaktiv va individuallashtirilgan shakliga aylanish salohiyatiga ega. Ayniqsa, fazoviy yechim traektoriyalarini (fazoviy diagrammalar, yo‘ nalish maydonlari) real vaqt rejimida qurish, parametrlarni interaktiv o‘ zgartirish orqali "agar...unda" turidagi tajribalarni amalga oshirish imkoniyati talabalarga tushunchalarni faqat yodlash emas, balki tushunish orqali o‘ zlashtirishga yordam beradi [4].

Tadqiqotning dolzarbligi shundan iboratki, O‘ zbekiston Respublikasida oliy ta’limni raqamlashtirish va milliy tayanch dasturlarni zamonaviy pedagogik texnologiyalar bilan boyitish davlat siyosati darajasida belgilangan vazifalardan biri hisoblanadi. Shu nuqtai nazardan, aniq fanlar, xususan, differensial tenglamalar kursini o‘ qitishda raqamli vositalarning didaktik salohiyatini ilmiy asoslash muhim ahamiyat kasb etadi.

Tadqiqotning maqsadi — differensial tenglamalarni o‘ qitish jarayonida zamonaviy axborot texnologiyalaridan foydalanishning didaktik imkoniyatlarini nazariy va metodik jihatdan tahlil qilish hamda ularning talabalar tomonidan mavzuni o‘ zlashtirish sifatiga potensial ta’sirini asoslashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

1. Differensial tenglamalarni o‘ qitishda yuzaga keladigan didaktik muammolarni aniqlash;
2. Mavzu bo‘ yicha mavjud ilmiy-metodik adabiyotlarni tahlil qilish;
3. Axborot texnologiyalarini qo‘ llashning metodik modelini ishlab chiqish;
4. Taklif etilgan model asosida kutilayotgan (farazga asoslangan) natijalarni prognoz qilish va muhokama etish.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Differensial tenglamalarni o‘ qitishda axborot texnologiyalaridan foydalanish muammosi so‘ nggi yigirma yil davomida xalqaro va milliy pedagogik tadqiqotlarda faol yoritilmoqda.

Bir qator xorijiy tadqiqotchilar kompyuter matematik tizimlarining (CAS — Computer Algebra Systems) matematik ta’limdagi rolini o‘ rgangan. Xususan, [5] tadqiqotida ta’kidlanishicha, CAS vositalari talabalarga rutina hisoblash amallaridan ozod bo‘ lib, tenglamalarning qurilishi va yechimlar xarakterini kontseptual tushunishga ko‘ proq vaqt ajratish imkonini beradi. Shunga o‘ xshash xulosaga [6] ham kelgan bo‘ lib, u differensial tenglamalar kursida vizualizatsiya vositalarining qo‘ llanilishi talabalarning "grafik-analitik fikrlash" ko‘ nikmasini rivojlantirishini ko‘ rsatgan.

Vizualizatsiya va dinamik modellashtirish masalasiga bag‘ ishlangan tadqiqotlarda [7] muallif yo‘ nalish maydonlari (direction fields) va faza portretlarining interaktiv tarzda qurilishi talabalarda tenglamaning sifat jihatidan xulq-atvorini (barqarorlik, tebranish, o‘ sish) tushunishni sezilarli darajada yaxshilashini qayd etadi. Bunday yondashuv, ayniqsa, aniq analitik yechimi murakkab yoki mavjud bo‘ lmagan tenglamalar uchun alohida ahamiyatga ega, chunki u sifat tahlili orqali yechim haqida tasavvur hosil qilish imkonini beradi [8].

Masofaviy va aralash (blended) ta’lim texnologiyalarining matematik fanlarni o‘ qitishga ta’siri bo‘ yicha [9] va [10] tadqiqotlari alohida e’tiborga loyiq. Ushbu ishlarda ko‘ rsatilishicha, onlayn platformalar orqali taqdim etiladigan video-ma’ruzalar, interaktiv testlar va simulyatsiya laboratoriyalari talabalarga o‘ z sur’atlarida (self-paced) o‘ rganish imkoniyatini beradi, bu esa xususan zaif tayyorgarlikka ega talabalar uchun muhim tayanch vazifasini o‘ taydi. Biroq mualliflar shuni ham ta’kidlaydiki, texnologik vositalarning o‘ zi yetarli emas — ular pedagogik jihatdan puxta o‘ ylangan uslubiyat bilan birga qo‘ llanilgandagina samara beradi.

So‘ nggi yillarda sun’iy intellekt va moslashuvchan (adaptive) o‘ qitish tizimlariga bag‘ ishlangan tadqiqotlar ham ko‘ payib bormoqda. [11] tadqiqotida ta’kidlanishicha, talabaning xatolari tahlili asosida individual mashqlar tavsiya etuvchi adaptiv platformalar matematik fanlarda, jumladan differensial tenglamalar bo‘ yicha, o‘ zlashtirish farqlarini kamaytirishga yordam beradi.

MDH mamlakatlari va O‘ zbekiston pedagogik tadqiqotlarida ham ushbu yo‘ nalish rivojlanmoqda. [12] va [13] ishlarida GeoGebra, MATLAB va boshqa dasturiy vositalarning oliy matematika kursini o‘ qitishda qo‘ llanilishi tahlil qilingan bo‘ lib, mualliflar ushbu vositalarning talabalarda fazoviy tasavvur va matematik intuitsiyani rivojlantirishdagi ahamiyatini ta’kidlaydilar. Shu bilan birga, [14] ta’kidlashicha, o‘ qituvchilarning raqamli vositalardan foydalanish bo‘ yicha metodik va texnik tayyorgarligi hozircha yetarli darajada emas, bu esa amaliyotga tatbiq etishning asosiy to‘ siqlaridan biri bo‘ lib qolmoqda.

Shunday qilib, adabiyotlar tahlili shuni ko‘ rsatadiki, zamonaviy axborot texnologiyalarining differensial tenglamalarni o‘ qitishdagi didaktik salohiyati keng tan olingan, biroq bu vositalarni aniq metodik model asosida, milliy ta’lim tizimi sharoitida qo‘ llash va ularning samaradorligini son jihatdan baholashga qaratilgan tadqiqotlar hali yetarli emas. Aynan shu bo‘ shliq ushbu tadqiqotning metodik asosini belgilaydi.

METODLAR

Tadqiqot nazariy-tahliliy va loyihalash (pedagogik dizayn) metodlari asosida olib borildi. Tadqiqot metodikasi quyidagi bosqichlardan iborat:

1. Nazariy tahlil metodi. Differensial tenglamalar kursi dasturi (Kirish, birinchi tartibli tenglamalar, yuqori tartibli chiziqli tenglamalar, tenglamalar sistemalari, sifat nazariyasi elementlari) mavzular kesimida tahlil qilindi va har bir mavzu uchun talabalarda kuzatiladigan tipik tushunish qiyinchiliklari aniqlandi (masalan: yechimning geometrik ma’nosini tasavvur qila olmaslik, boshlang‘ ich shart bilan xususiy yechim orasidagi bog‘ liqlikni tushunmaslik, parametrlarning yechim barqarorligiga ta’sirini idrok eta olmaslik).

2. Didaktik vositalarni tanlash va tasniflash metodi. Mavzu bo‘ yicha mavjud vositalar to‘ rt guruhga ajratildi:

— kompyuter matematik tizimlari (Wolfram Mathematica, MATLAB/Simulink, Maple) — analitik va sonli yechimlarni olish uchun;

— interaktiv vizualizatsiya vositalari (GeoGebra, Desmos, Python/Matplotlib asosidagi interaktiv modullar) — yo‘ nalish maydonlari, faza portretlari va parametrik animatsiyalarni qurish uchun;

— masofaviy ta’lim platformalari (Moodle, Google Classroom asosidagi kurslar) — video-ma’ruzalar, oraliq testlar va mustaqil ish materiallarini joylashtirish uchun;

— adaptiv o‘ qitish tizimlari — talabaning natijalari asosida individual mashqlar taqdim etuvchi dasturiy modullar.

3. Pedagogik model ishlab chiqish metodi. Yuqoridagi vositalar asosida "uch bosqichli aralash o‘ qitish modeli" taklif etildi:

— kirish bosqichi — mavzu an’anaviy ma’ruza va vizual namoyish orqali kiritiladi;

— amaliy-interaktiv bosqich — talabalar kompyuter matematik tizimlari va vizualizatsiya vositalari yordamida mustaqil topshiriqlarni bajaradilar, parametrlarni o‘ zgartirib, yechimning xulq-atvorini kuzatadilar;

— mustahkamlash va nazorat bosqichi — masofaviy platforma orqali oraliq test va adaptiv mashqlar taqdim etiladi, natijalar o‘ qituvchi tomonidan tahlil qilinadi.

4. Baholash mezonlarini ishlab chiqish metodi. Modelning samaradorligini kelgusida eksperimental tekshirish uchun quyidagi mezonlar taklif etildi: (a) mavzuni o‘ zlashtirish darajasi (test natijalari bo‘ yicha), (b) tushunchani tushuntirish sifati (og‘ zaki/yozma javoblar tahlili orqali), (v) o‘ quv motivatsiyasi darajasi (so‘ rovnoma orqali), (g) mustaqil ishlash vaqti samaradorligi.

NATIJALAR

Taklif etilgan uch bosqichli aralash o‘ qitish modelining qo‘ llanilishi natijasida quyidagi tendensiyalar kutiladi:

1. O‘ zlashtirish darajasi bo‘ yicha. An’anaviy usulda o‘ qitilgan nazorat guruhi bilan solishtirganda, axborot texnologiyalari qo‘ llanilgan tajriba guruhida yakuniy test ko‘ rsatkichlarining o‘ rtacha 12–18 foiz punktga yuqori bo‘ lishi taxmin qilinadi. Bunga sabab, talabalarning yechim jarayonini vizual kuzatish orqali tushunchalarni chuqurroq o‘ zlashtirishi bo‘ lishi mumkin.

2. Tushunchani talqin qilish sifati bo‘ yicha. Interaktiv vositalar bilan ishlagan talabalarning yozma javoblarida yechimning geometrik-fizik ma’nosini tushuntirishga oid izohlar sifat va miqdor jihatdan boyroq bo‘ lishi kutiladi. Xususan, "barqarorlik", "tebranuvchan xulq-atvor", "boshlang‘ ich shartga bog‘ liqlik" kabi tushunchalarni o‘ z so‘ zlari bilan izohlay olish ko‘ rsatkichi taxminan 20–25 foizga o‘ sishi mumkin.

3. O‘ quv motivatsiyasi bo‘ yicha. So‘ rovnoma natijalarining gipotetik modeli shuni ko‘ rsatishi mumkinki, talabalarning fanga qiziqishi va o‘ z-o‘ ziga ishonchi (self-efficacy) darajasi vizual-interaktiv vositalar bilan ishlagan guruhda sezilarli darajada yuqori bo‘ ladi, bu esa [9] va [11] tadqiqotlarida qayd etilgan xulosalar bilan mos keladi.

4. Mustaqil ishlash samaradorligi bo‘ yicha. Masofaviy platforma orqali taqdim etilgan qo‘ shimcha materiallar va adaptiv mashqlar tufayli, zaif tayyorgarlikka ega talabalarning o‘ rtacha o‘ zlashtirish ko‘ rsatkichi bilan kuchli talabalar o‘ rtasidagi farq (o‘ zlashtirish tafovuti) qisqarishi mumkin, chunki adaptiv tizim har bir talabaga individual sur’atda mashq taqdim etadi.

5. Vaqt samaradorligi bo‘ yicha. Kompyuter matematik tizimlaridan foydalanish hisobiga rutina hisoblash amallariga sarflanadigan vaqt qisqarib, bo‘ shagan vaqt tushunchalarni muhokama qilish va amaliy masalalar yechishga yo‘ naltirilishi taxmin qilinadi.

Quyidagi jadvalda kutilayotgan (gipotetik) natijalar umumlashtirilgan:

Ko‘ rsatkich	Nazorat guruhi (an’anaviy usul), taxminiy	Tajriba guruhi (AT qo‘ llanilgan), taxminiy
Yakuniy test o‘ zlashtirishi	~62%	~76–80%
Tushunchani og‘ zaki/yozma talqin qilish sifati	O‘ rtacha	Yuqori
Motivatsiya darajasi (5 balli shkala)	~3.2	~4.1–4.3
Zaif/kuchli talabalar o‘ rtasidagi o‘ zlashtirish farqi	Katta	Qisman qisqargan

MUHOKAMA

Yuqorida keltirilgan gipotetik natijalar adabiyotlar tahlilida qayd etilgan tendensiyalar bilan umumiy jihatdan mos keladi: vizualizatsiya va interaktivlik matematik tushunchalarni "ko‘ rish" va "his qilish" orqali chuqurroq o‘ zlashtirishga xizmat qiladi [4], [7], [8], masofaviy va adaptiv vositalar esa individuallashtirishni ta’minlab, o‘ zlashtirish farqlarini qisqartirish salohiyatiga ega [9], [11].

Shu bilan birga, kutilayotgan natijalarni talqin qilishda bir qator ehtiyot choralariga rioya qilish zarur. Birinchidan, texnologik vositalarning o‘ zi avtomatik ravishda yuqori natija bermaydi — bir qator tadqiqotlar ko‘ rsatganidek, ularning samarasi to‘ g‘ ridan-to‘ g‘ ri o‘ qituvchining metodik tayyorgarligi va vositalarni pedagogik jihatdan asoslangan tarzda tanlash-joylashtirishga bog‘ liq [14]. Shu sababli, taklif etilgan uch bosqichli model faqat vosita emas, balki metodik izchillikni ham nazarda tutadi.

Ikkinchidan, "o‘ zlashtirish tafovuti"ning qisqarishi haqidagi faraz ehtiyotkorlik bilan qabul qilinishi lozim, chunki adaptiv tizimlarning samarasi ko‘ p jihatdan talabalarning texnologik vositalardan mustaqil foydalanish ko‘ nikmalariga va infratuzilma (internet, qurilma) mavjudligiga bog‘ liq bo‘ lishi mumkin — bu omil, ayniqsa, hududiy oliy ta’lim muassasalari sharoitida cheklovchi omil bo‘ lishi ehtimoldan xoli emas.

Uchinchidan, motivatsiya ko‘ rsatkichlaridagi o‘ sish qisqa muddatli "yangilik effekti" (novelty effect) bilan bog‘ liq bo‘ lishi mumkinligini inobatga olish kerak — ya’ni yangi texnologik vositaga bo‘ lgan qiziqish vaqt o‘ tishi bilan pasayishi mumkin, shu sababli uzoq muddatli kuzatuvlar zarur.

Shunday qilib, ushbu bo‘ limda keltirilgan muhokama shuni ko‘ rsatadiki, taklif etilgan model nazariy jihatdan asoslangan bo‘ lsa-da, uning haqiqiy samaradorligini tasdiqlash uchun nazorat va tajriba guruhlari ishtirokida real pedagogik eksperiment o‘ tkazish zarur.

XULOSA

Ushbu tadqiqotda differensial tenglamalarni o‘ qitishda zamonaviy axborot texnologiyalarining didaktik imkoniyatlari nazariy jihatdan tahlil qilindi va kompyuter matematik tizimlari, interaktiv vizualizatsiya vositalari, masofaviy ta’lim platformalari hamda adaptiv o‘ qitish tizimlarini birlashtirgan uch bosqichli aralash o‘ qitish modeli taklif etildi.

Adabiyotlar tahlili va taklif etilgan model asosida shakllantirilgan gipotetik natijalar shuni ko‘ rsatadiki, bunday vositalarning pedagogik jihatdan asoslangan tarzda qo‘ llanilishi talabalarning mavzuni o‘ zlashtirish sifatini, tushunchalarni talqin qilish qobiliyatini va o‘ quv motivatsiyasini oshirishga xizmat qilishi mumkin. Shu bilan birga, ushbu ta’sirning haqiqiy darajasi faqat nazariy prognozlar bilan emas, balki nazorat va tajriba guruhlari ishtirokidagi to‘ liq eksperimental tadqiqotlar orqali tasdiqlanishi lozim.

Kelgusi tadqiqotlar uchun quyidagi yo‘ nalishlar tavsiya etiladi: (1) taklif etilgan modelni aniq oliy ta’lim muassasasi sharoitida amaliy sinovdan o‘ tkazish; (2) o‘ zlashtirish va motivatsiya ko‘ rsatkichlarini statistik jihatdan qat’iy usullar (masalan, oldin-keyin testlash, nazorat guruhi bilan solishtirish) yordamida o‘ lchash; (3) o‘ qituvchilarning raqamli vositalardan foydalanish bo‘ yicha metodik tayyorgarligini oshirishga qaratilgan alohida dastur ishlab chiqish.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘ YXATI

1. Artigue, M. Learning mathematical analysis and the challenges of abstraction // Educational Studies in Mathematics. — 1996.

2. Zill, D. G., Wright, W. S. Differential Equations with Boundary-Value Problems. — Cengage Learning, 2016.

3. Rasmussen, C., Kwon, O. N. An inquiry-oriented approach to undergraduate mathematics // Journal of Mathematical Behavior. — 2007.

4. Habre, S. Exploring students' strategies to solve ordinary differential equations using a technological tool // Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching. — 2000.

5. Buteau, C., Muller, E. Evolving technologies integrated into undergraduate mathematics education // International Journal for Technology in Mathematics Education. — 2014.

6. Kwon, O. N. Conceptualizing the realistic mathematics education approach in the teaching and learning of ordinary differential equations // Proceedings of ICTM. — 2002.

7. Rasmussen, C. New directions in differential equations: A framework for interpreting students' understandings and difficulties // Journal of Mathematical Behavior. — 2001.

8. Blanchard, P., Devaney, R. L., Hall, G. R. Differential Equations. — Brooks/Cole, 2012.

9. Bishop, J. L., Verleger, M. A. The flipped classroom: A survey of the research // ASEE National Conference Proceedings. — 2013.

10. Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M. Evaluation of Evidence-Based Practices in Online Learning // U.S. Department of Education. — 2010.

11. VanLehn, K. The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems // Educational Psychologist. — 2011.

12. Тошпўлатов, Ш. Т. Олий математика курсини ўқитишда ахборот технологияларидан фойдаланиш методикаси // Педагогика фанлари муаммолари ва ечимлари. — 2019.

13. Каримов, А. А. Дифференциал тенгламаларни ўқитишда GeoGebra дастуридан фойдаланиш // Замонавий таълим журнали. — 2021.

14. Ертмер, П. А., Оттенбрайт-Леффтвич, А. Т. Teacher technology change: How knowledge, confidence, beliefs, and culture intersect // Journal of Research on Technology in Education. — 2010.