

УДК 066.015.23

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.103536

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТАРЕЛОК ПРОВАЛЬНОГО ТИПА, УСТАНОВЛЕННЫХ В КОЛОННАХ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА

© Г. В. Тараненко

Проведено гидродинамическое моделирование работы тарелок провального типа установленных в колоннах большого диаметра на примере расчета колонны основной ректификации смеси метанол – вода. При гидродинамическом моделировании использовались экспериментальные данные, полученные при исследовании тарелок провального типа, установленных в колонне диаметром 0,057 м. Экспериментальные данные были получены на модельной системе воздух – вода. Диаметр отверстий в плато тарелки составлял 0,012 м

Ключевые слова: тарелка, гидродинамическое моделирование, колонна, геометрические характеристики, ректификация, параметр T , бифуркация

1. Введение

Тарелки провального типа нашли достаточно широкое применение в химической и других родственных отраслях промышленности. Они просты в изготовлении и надежны в эксплуатации, а так же способны длительное время работать с загрязненными рабочими средами.

Тарелки провального типа применяются в массообменных колонных аппаратах различного диаметра. Геометрические характеристики этих тарелок такие, как свободное сечение, диаметр отверстий в плато тарелки, могут изменяться в широких пределах.

В этих условиях необходимо изучить влияние геометрических характеристик тарелок провального типа на гидравлические характеристики их работы, с целью дальнейшего совершенствование методики гидравлического расчета тарелок провального типа.

2. Анализ литературных данных

В [1] изучали процесс перегонки бражки, на Трилесском спиртовом заводе, в колоннах с решетчатыми провальными тарелками. Бражная колонна была диаметром 0,257 м.

В [2] приводятся данные по внедрению решетчатых тарелок провального типа в бражных колоннах различного диаметра 0,6, 1,0, 1,6 и 2,0 м.

В [3] описывается, что для очистки водорода от бензола была использована колонна с тарелками провального типа диаметром 0,8 м. В скруббере диаметром 0,762 м осуществляли очистку пропан-пропиленовой фракции от сернистого газа. В производстве полигидрированного спирта для отпарки промежуточных соединений из воды использовалась колонна диаметром 1,07 м с тарелками провального типа. Колонна диаметром 0,4 м выполняла функции абсорбционно-отпарной, этиленовой, этилен-этановой колонны в установке разделения углеводородных газов под давлением, этиленовых производств. В производстве синтетического спирта, решетчатые тарелки установлены в отпарных частях абсорбционно-отпарных колонн диаметром 1,14 м. Для улавливания бензола каменноугольным маслом использовали колонну диаметром 0,8 м с тарелками провального типа. В качестве деизобутанизатора при разделении парафинов эксплуати-

руются колонны диаметром 0,4 м. Для получения полипропилена из пропан-пропиленовой фракции использовалась колонна диаметром 0,4 м с решетчатыми тарелками. Эксплуатируется также колонна с дырчатыми тарелками провального типа диаметром 0,57 м в качестве теплообменника-холодильника сернистого газа. В производстве стирола эксплуатируются колонны диаметром 2,6 и 3,0 м. В производстве разделения газов пиролиза установлены колонны 1,2–1,6 м. Установка АВТ работает с колонной диаметром 3,2 м. На установке разделения сырой нефти использовались тарелки провального типа в вакуумной колонне диаметром 5 м [3].

В исследовании [4] приводятся сведения о выборе пенных аппаратов для мокрой очистки газов с тарелками провального типа различного диаметра. Предлагается ряд типоразмеров газоочистителей с диаметром аппаратов 0,703, 0,89, 0,107, 0,126, 0,145, 0,168, 0,192, 0,222, 0,248, 0,282 м.

Из опыта эксплуатации тарелок провального типа в промышленности можно сделать выводы:

- тарелки провального типа успешно эксплуатируются в различных отраслях промышленности во многих производствах промышленной продукции;
- в промышленности эксплуатируются тарелки провального типа в колоннах различного диаметра от 0,257 до 5,0 м.

Известно [5], что при переходе от аппаратов небольшого диаметра к аппаратам большего диаметра возникает масштабный эффект, который заключается в том, что при переходе к большему диаметру уменьшается эффективность аппарата при прочих равных условиях. Утверждается, что эффективность аппаратов зависит от гидродинамических условий материальных потоков в аппарате. В исследовании обсуждается теория масштабного перехода. Предлагается определять эффективность аппаратов больших размеров только на основании гидродинамических испытаний, не проводя технологических испытаний промышленных аппаратов. Технологические испытания необходимо проводить только на опытных установках небольшого размера. Таким образом, необходимо моделировать работу промышленных колонн большого диаметра на основании экспериментальных

данных, полученных на опытных установках с небольшим диаметром колонн.

В исследовании [6] приведены графики зависимости (рис. 1) гидравлического сопротивления тарелок провального типа (Δp , м) от скорости газа в сечении колонны (w , м/с), для тарелок диаметром $D=0,4$ и 2 м, исследованных на модельной системе воздух–вода при плотности и орошения $L=8$ м³/(м²·час) и тарелки диаметром $D=0,3$ м (ректификация системы метанол – вода 50 мол. %). Свободное сечение всех тарелок составляло $f=36$ %, а диаметр отверстий в плато тарелки – $d_0=0,012$ м.

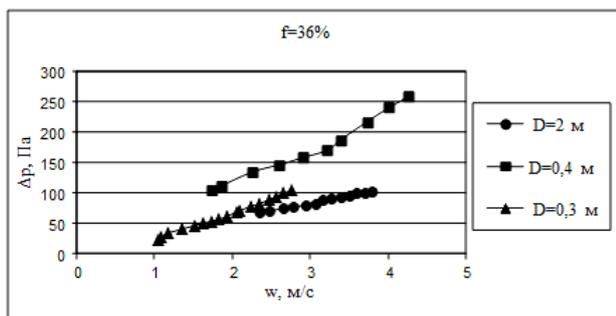


Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления тарелок провального типа (Δp , м) от скорости газа в сечении колонны (w , м/с)

Из сравнения графиков для тарелок с диаметром $D=0,4$ и 2 м видно, что гидравлическое сопротивление у тарелки диаметром $D=0,4$ более чем в два раза больше гидравлического сопротивления тарелки диаметром $D=2$ м, при прочих равных условиях. Это согласуется с выводами авторов исследования [5] о существовании масштабного эффекта.

В [6, 7] были исследованы режимы работы, которые возникают на тарелках провального типа. Установлено существование трех режимов работы тарелок:

- режим однородного барботажного слоя;
- режим подвижного газожидкостного слоя;
- режим разрушения газожидкостного слоя.

Делаются выводы, что переход от режима однородного барботажного слоя к режиму подвижного газожидкостного слоя осуществляется в точке бифуркации, когда происходит принципиальное изменение структуры барботажного слоя. Этот переход происходит при высоте газожидкостного слоя $H \approx 0,1$ м для всех исследованных тарелок. Максимальная эффективность на тарелках провального типа достигается при режиме подвижного газожидкостного слоя.

В исследовании [8] было предложено уравнение (1) для расчета точки бифуркации барботажного слоя на тарелках провального типа

$$\lg\left(\frac{Y}{T^{0,5}}\right) = 0,0751 - 1,68 \cdot X. \quad (1)$$

В уравнение (1) входит коэффициент T , который представляет собой отношение суммы периметров всех отверстий плато тарелки к ее диаметру [6]. Таким образом, параметр T является функцией таких геометрических параметров тарелки провального ти-

па, как ее диаметр, свободное сечение и диаметр отверстий плато тарелки. Это дает возможность по уравнению (1) рассчитывать свободное сечение тарелок провального типа по заданной скорости, рассчитанной на полное сечение колонны, для различных диаметров колонны. Следовательно, возможно гидродинамическое моделирование тарелок провального типа с различными геометрическими характеристиками.

По литературному обзору можно сделать следующие выводы:

– в промышленности применяются тарелки провального типа различных диаметров от $0,257$ до $5,0$ м [1–3];

– в аппаратах, снабженных тарелками провального типа, существует масштабный эффект [5, 6];

– существует три режима работы тарелок провального типа. Переход от режима однородного барботажного слоя к режиму подвижного газожидкостного слоя происходит в точке бифуркации, когда происходит принципиальное изменение структуры барботажного слоя. Этот переход происходит при высоте газожидкостного слоя $H \approx 0,1$ м для всех исследованных тарелок. Максимальная эффективность на тарелках провального типа достигается при режиме подвижного газожидкостного слоя [6, 7];

– для расчета газожидкостного слоя на тарелках провального типа в точке бифуркации предложено уравнение (1) [8], куда входит параметр T , который представляет собой отношение суммы периметров всех отверстий плато тарелки к ее диаметру [6]. С помощью параметра T можно осуществлять гидродинамическое моделирование промышленных колонн.

Следовательно, с помощью параметра T можно осуществлять исследования зависимости гидродинамических параметров газожидкостного слоя от геометрических характеристик тарелки провального типа, включая ее наружный диаметр.

В уравнение (1) входят также физико-химические параметры газожидкостного слоя такие, как плотности газа и жидкости, и их вязкости. Эти параметры также влияют на гидродинамические параметры тарелок провального типа.

Изучение этих проблем представляет научный интерес.

3. Цель и задачи исследования

Цель исследования – осуществление гидродинамического моделирования работы тарелок провального типа большого диаметра, с использованием экспериментальных данных полученных на колонне небольшого диаметра.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести технологический расчет для укрепляющей части колонны основной ректификации производства метанола М-100.

2. По заданной скорости пара, рассчитанной на полное сечение колонны, в точке бифуркации, необходимо определить свободное сечение тарелок провального типа для рассчитанной ректификационной колонны.

3. Далее, необходимо задаться модельным диаметром колонны и рассчитать для него свободное сечение модельной тарелки провального типа.

4. После проведения гидравлических испытаний модельной тарелки провального типа, получаем модельные гидродинамические параметры, которые моделируют промышленные тарелки провального типа.

4. Пример расчета промышленной колонны

В качестве примера, для характеристики уравнения (1), в исследовании предлагается гидродинамическое моделирование тарелок провального типа с целью их установки в укрепляющей части колонны основной ректификации производства метанола М-100.

Исходные данные для расчета тарелок провального типа следующие:

- диаметр колонны – $D=2,4$ м;
- расход дистиллята метанола – $G_d=100000$ т/год;
- массовый расход жидкости (флегмы) – $G_p=8,199$ кг/с;
- средняя плотность смеси в укрепляющей части колонны – $\rho_p=759,98$ кг/м³;
- средняя динамическая вязкость смеси в укрепляющей части колонны при средней температуре – $\mu_p=0,3453 \cdot 10^{-3}$ Па·с;
- динамическая вязкость воды при температуре 20°С – $\mu_6=1,005 \cdot 10^{-3}$ Па·с;
- средняя плотность пара смеси метанола – вода в укрепляющей части колонны – $\rho_n=1,19$ кг/м³;
- скорость пара рассчитанная на полное сечение колонны – $w=1,52$, м/с;
- массовый расход пара – $G_n=8,175$ кг/с;
- диаметр отверстий плато тарелки – $d_0=0,012$ м;

- плотность орошения по жидкости составила – $L=8,5885$ м³/(м² час).

- свободное сечение тарелки= f , м²/м².

- ускорение силы тяжести – $g=9,81$ м/с².

Уравнение (1) привели к виду уравнения (2)

$$Y/T^{0.5}=1,188 \cdot 10^{-1.68 \cdot X} \tag{2}$$

Значение Y определяем по уравнению (3)

$$Y = \frac{w^2}{g \cdot d_0 \cdot f^2} \cdot \frac{\rho_n}{\rho_p} \cdot \left(\frac{\mu_p}{\mu_6} \right)^{0.16} \tag{3}$$

Значение X определяем по уравнению (4)

$$X = \left(\frac{G_p}{G_n} \right)^{1/4} \cdot \left(\frac{\rho_n}{\rho_p} \right)^{1/8} \tag{4}$$

Искомое значение свободного сечения тарелки провального типа определяем методом последовательного приближения по уравнениям (2)–(4).

Физико-химические константы в уравнениях (2)–(4) учитывали на основе корреляции Шервуда [9, 10].

Задаемся рядом значений для свободного сечения тарелки и определяем величину $|\epsilon|$, которую берем по абсолютной величине (табл. 1). $|\epsilon|$ – разница между левой и правой частями уравнения (2).

Таблица 1

Значения f и $|\epsilon|$, соответственно, для колонны с диаметром $D=2,4$ м

f	0,09	0,1	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18
$ \epsilon $	0,21151	0,11535	0,04605	0,00430	0,07057	0,11057	0,13632

Далее строим график зависимости $f=\varphi(|\epsilon|)$ (рис. 2) и определяем искомое свободное сечение тарелки по минимальной величине $|\epsilon|$, для рассчитанной промышленной колонны диаметром $D=2,4$ м.

В результате расчета, для колонны диаметром $D=2,4$ м выбираем свободное сечение тарелок провального типа равное $f=0,12$. Далее проводим гидродинамическое моделирование газожидкостного слоя на тарелке провального типа в точке бифуркации, используя колонну с тарелкой провального типа диаметром $D=0,057$ м. Для этого задаемся скоростью пара $w=1,52$, м/с и плотностью орошения $L=8,5885$ м³/(м² час) в модельной колонне. Тогда массовый расход пара $G_n=0,004613$ кг/с и массовый расход жидкости (флегмы) $G_p=0,004625$ кг/с.

Задаемся рядом значений для свободного сечения тарелки и определяем величину $|\epsilon|$, которую берем по абсолютной величине (табл. 2). $|\epsilon|$ – разница между левой и правой частями уравнения (2).

Далее, строим график зависимости $f=\varphi(|\epsilon|)$ (рис. 3) и определяем искомое свободное сечение тарелки по минимальной величине $|\epsilon|$ для тарелки, установленной в колонне $D=0,057$ м.

В результате расчета, для колонны диаметром $D=0,057$ м выбираем свободное сечение тарелок провального типа равное $f=0,25$.

Таким образом, чтобы смоделировать гидродинамическую обстановку в точке бифуркации в колонне диаметром $D=2,4$ м со свободным сечением $f=0,12$, необходимо провести гидравлические исследования тарелки провального типа, установленной в колонне $D=0,057$ м, со свободным сечением $f=0,25$.

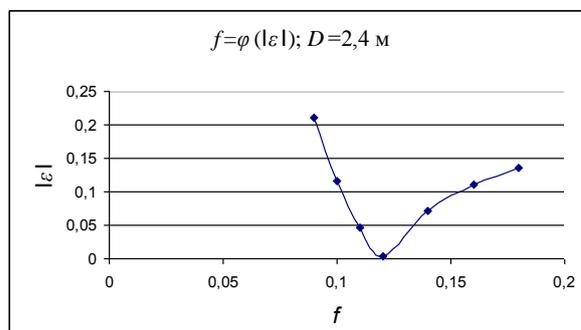


Рис. 2. График зависимости величины $|\epsilon|$ от f для колонны диаметром $D=2,4$ м

Таблица 2

Значения f и $|\epsilon|$, соответственно, для колонны с диаметром $D=0,057$ м

f	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35
$ \epsilon $	0,5581	0,1634	0,003083	0,07548	0,119

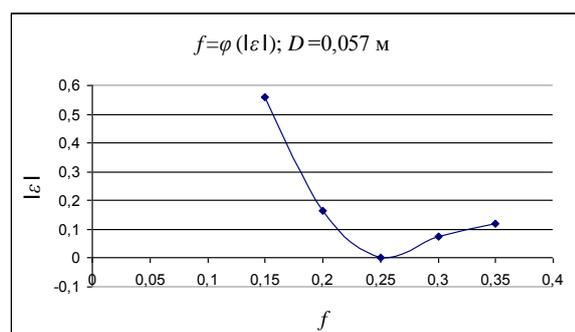


Рис. 3. График зависимости величины $|\varepsilon|$ от f для колонны диаметром $D=0,057$ м

5. Оборудование и методы исследований

Были проведены эксперименты на модельной установке с колонной $D=0,057$ м и свободным сечением $f=0,24$. Диаметр отверстий в плато тарелки составлял $d_0=0,0125$ м. Плотность орошения установили равной $L=8,35$ м³/(м² час). Измеряли гидравлическое сопротивление тарелки и высоту газожидкостного слоя на тарелке провального типа в зависимости от скорости газа в сечении колонны.

6. Результаты исследования

На (рис. 4) приведен график зависимости гидравлического сопротивления тарелки провального типа от скорости газа в сечении колонны, а на (рис. 5) – график зависимости высоты газожидкостного слоя от скорости газа в сечении колонны. Эти графики характеризуют гидродинамическую обстановку на исследуемой тарелке. Скорость газа, которая характеризует точку бифуркации, можно найти на графике (рис. 5). Высоте газожидкостного слоя $H \approx 100$ мм соответствует скорость газа в сечении колонны равная $w=1,6$ м/с, которая соответствует точке бифуркации газожидкостного слоя на тарелке провального типа. При этой скорости, происходит изменение режима работы исследуемой тарелки провального типа.

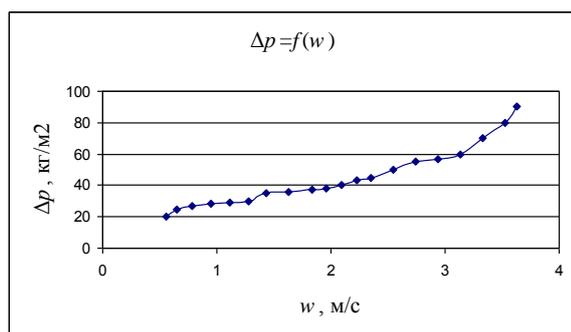


Рис. 4. График зависимости величины Δp от w для колонны диаметром $D=0,057$ м

Из графика зависимости $H=f(w)$, видно, что бифуркация в колонне диаметром $D=0,057$ м, происходит при скорости воздуха $w=1,6$ м/с. Это близкое значение скорости к расчетной скорости пара в точке бифуркации ($w=1,52$, м/с) в колонне с диаметром $D=2,4$ м и свободным сечением $f=0,12$.

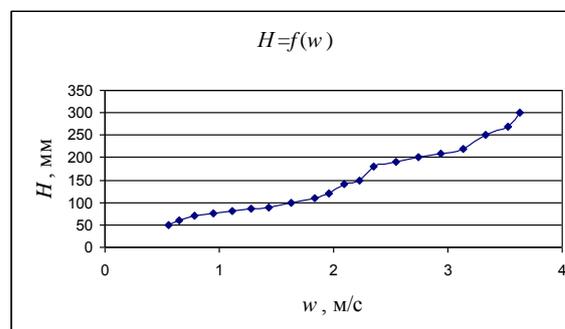


Рис. 5. График зависимости величины H от w для колонны диаметром $D=0,057$ м

7. Выводы

1. С помощью уравнения (1) можно осуществлять гидродинамическое моделирование работы тарелок провального типа, используя параметр T , который представляет отношение суммы периметров всех отверстий плато тарелки к ее диаметру.

2. Показан пример расчета скорости пара в точке бифуркации тарелок провального типа с диаметром $D=2,4$ м, с использованием данных полученных при исследовании тарелок провального типа в колонне с диаметром $D=0,057$ м.

3. Показано, что в точке *режим* бифуркации, при скорости газа $w=1,52$, м/с в колонне диаметром $D=2,4$ м при плотности орошения $L=8,5885$ м³/(м² час) свободное сечение тарелок должно составлять $f=0,12$.

Следовательно, для моделирования скорости в точке бифуркации, необходимо в колонне диаметром $D=0,057$ м установить тарелки провального типа со свободным сечением $f=0,25$, при этом скорость рассчитанная на полное сечение колонны составит $w=1,52$, м/с, и плотность орошения будет равна $L=8,5885$ м³/(м² час).

4. Проведенные исследования подтвердили расчетные данные. При плотности орошения $L=8,35$ м³/(м² час), в колонне диаметром $D=0,057$ м, скорость воздуха в точке бифуркации равнялась $w=1,6$ м/с. Свободное сечение тарелки составляло $f=0,24$.

5. С помощью уравнения (2), можно осуществлять гидродинамическое моделирование газожидкостного слоя на тарелках провального типа большого диаметра ($D=2,4$ м), используя экспериментальные данные, полученные на колонне диаметром модельного размера ($D=0,057$ м)

Литература

1. Стабников, В. Н. Провальные тарелки ректификационных аппаратов и их применение на предприятиях спиртовой промышленности [Текст]: обзор / В. Н. Стабников, М. И. Штромило. – М.: ЦНИИТЭИпищепром, 1971. – 20 с.
2. Стабников, В. Н. Интенсификация процесса перегонки в аппаратах с решетчатыми провальными тарелками. Ч. II [Текст]: V Всесоюз. конф. по теор. и пр. ректификации / В. Н. Стабников, М. И. Штромило, А. Д. Сергеев. – Северодонецк, 1984. – С. 49–50.
3. Колтунова, Л. Н. Пути интенсификации процесса ректификации. Опыт промышленного применения решетчатых тарелок и методика их расчета [Текст] / Л. Н. Колтунова, Л. С. Позин, Т. А. Быстрова. – М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1977. – 84 с.

4. Тарат, Э. Я. Пенный режим и пенные аппараты [Текст] / Э. Я. Тарат, И. П. Мухленов, А. Ф. Туболкин и др.; ред. И. П. Мухленов, Э. Я. Тарат. – Л.: Химия, 1977. – 303 с.
5. Розен, А. М. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования [Текст] / А. М. Розен, Е. И. Мартюшин, В. М. Олевский и др.; ред. А. М. Розен. – М.: Химия, 1980. – 320 с.
6. Тараненко, Г. В. Гидравлические и массообменные характеристики тарелок провального типа с различным диаметром отверстий [Текст]: монография / Г. В. Тараненко. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2013. – 174 с.
7. Тараненко, Г. В. Гідродинамічні режими роботи тарілок провального типу [Текст] / Г. В. Тараненко // Харчова промисловість. – 2012. – № 13. – С. 90–93.
8. Taranenko, G. Calculation of the lower operating limit of dual-flow plates with different geometrical characteristics [Text] / G. Taranenko // ScienceRise. – 2015. – Vol. 3, Issue 2 (8). – P. 67–73. doi: 10.15587/2313-8416.2015.39196
9. Sherwood, T. K. Flooding Velocities in Packed Columns [Text] / T. K. Sherwood, G. H. Shipley, F. A. L. Holloway // Industrial & Engineering Chemistry. – 1938. – Vol. 30, Issue 7. – P. 765–769. doi: 10.1021/ie50343a008
10. Касаткин, А. Г. К расчету колонн с провальными тарелками [Текст] / А. Г. Касаткин, Ю. И. Дитнерский, С. У. Умаров // Химическая промышленность. – 1958. – № 3. – С. 38–45.

*Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Созонтов В. І.
Дата надходження рукопису 24.04.2017*

Тараненко Геннадий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, кафедра машиноведения и оборудования промышленных предприятий, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля, пр. Центральный, 59-а, г. Северодонецк, Украина, 93400
E-mail: gtaranenko@ukr.net

УДК 378.15.1

DOI: 10.15587/2313-8416.2017.103923

ОБҐРУНТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ ПІДТРИМКИ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ ВЕКТОРНОЇ ГРАФІКИ

© **Є. М. Грабовський, В. М. Гіковатий**

В статті запропоновано методичні засади організації підтримки електронного навчання за допомогою технологій векторної графіки. Здійснено аналіз різноманіття мультимедійних можливостей векторної графіки в умовах електронного навчання. Розроблено схеми структурування навчального тексту електронних підручників на основі використання векторної графіки. В роботі створено організаційну схему структури сайту електронного навчання за допомогою векторної графіки

Ключові слова: електронне навчання, технологія, інструментальні засоби, векторна графіка, векторний редактор, електронний підручник

1. Вступ

Яскрава реалізація педагогічного дизайну електронних засобів навчання є неможливою без застосування графічних компонент. Технології комп'ютерної графіки дозволяють надати електронному підручнику необхідного зовнішнього оформлення, естетичного вигляду та досягти ергономічної ефективності для використання користувачами. Саме тому на сьогодні актуального значення набуває проблематика організації підтримки електронного навчання за допомогою технологій векторної графіки, що визначає актуальність даного дослідження.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В роботі [1] розглядається сутність технологій векторної графіки. Загальна характеристика і порівняння векторних редакторів наведено у праці [2]. В дослідженні [3] аналізуються теоретико-методичні основи створення систем підтримки e-learning. Проблематика створення єдиного інформаційного простору як засіб інтеграції сучасних педагогічних систем знайшла свого відображення у науковій праці [4]. В роботі [5] розглядається специфіка створення онлайн

курсів в системі дистанційного навчання. В роботі [6] аналізуються соціальні аспекти створення систем підтримки електронного навчання. Еволюція технологічних засобів e-learning аналізується у праці [7]. В дослідженні [8] особлива увага наділяється теоретичним аспектам оптимізації систем e-learning. Аспекти оцінки ефективності систем підтримки електронного навчання аналізуються в роботі [9]. Проблематиці підвищення інтерактивності сучасних продуктів e-learning присвячено дослідження [10].

Аналіз спеціалізованої літератури засвідчує, що, з одного боку, проблеми організації систем підтримки електронного навчання у сучасній освіті є актуальними, з іншого – інформаційні технології векторної графіки стали невід'ємною частиною сучасних інформаційних систем, але визначені напрями досліджень більшою частиною не висвітлюють питань обґрунтування інструментальних засобів підтримки e-learning за допомогою технологій векторної графіки.

Таким чином, в спеціалізованій літературі є відсутніми методологічні засади організації електронного навчання на основі технологій векторної графіки, що обумовлює необхідність проведення досліджень в цьому напрямку.