

УДК 663.5

ПОСТАНОВКА АКТИВНОГО И ИНТЕРАКТИВНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КУРСУ «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ»

Рузанов С.Р., Смирнов С.И.

ГОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева»,
Нижний Новгород, e-mail: rsr-rus@inbox.ru

Сформулированы задачи лабораторного практикума по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» и предложен вариант решения поставленных задач на примере лабораторной работы «Испытание лабораторного вакуум-фильтра». Выполнение лабораторной работы предполагает применение в изучении курса комплексного подхода с активной и интерактивной частью. Приводится схема лабораторной установки с указанием фиксируемых параметров. Представлены результаты выполнения студентами лабораторной работы по фильтрованию модельной суспензии и методика обработки опытных данных, в основу которой положена графическая и математическая обработка современными методами. Интерактивная часть работы предполагает изучение влияния широкого комплекса параметров, изменение которых затруднительно выполнить в лабораторных условиях. Предлагаемый в работе комплексный подход к выполнению лабораторного практикума способствует формированию у студентов инженерного мышления.

Ключевые слова: лабораторный практикум, фильтрование, константы фильтрования, интерактивная часть

STATEMENT OF THE ACTIVE AND INTERACTIVE LABORATORY WORKSHOP ON THE COURSE «PROCESSES AND DEVICES OF CHEMICAL TECHNOLOGY»

Ruzanov S.R., Smirnov S.I.

Nizhgorodski state technical university named by R.E. Alekseev, Nizny Novgorod,
e-mail: rsr-rus@inbox.ru

Defined objectives of laboratory training on the course «Processes and devices of chemical technologies» and the variant of the decision of tasks on the example of laboratory work «Test laboratory vacuum filter». Performing laboratory work involves the use of the course integrated approach with active and interactive part. The scheme of the laboratory setup showing recorded parameters. Presents the results of the students perform the laboratory work for the filtration of model suspensions and methods of processing of empirical data, which was based on graphical and mathematical treatment of modern methods. The interactive part involves the study of the influence of a wide range of parameters, which is difficult to perform in laboratory conditions. Proposed in this paper an integrated approach to laboratory works contributes to the formation of students' engineering thinking.

Keywords: laboratory workshop, filtering, filter constants, the interactive part

Лабораторный практикум по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» [1] выполняется студентами с целью закрепления теоретических знаний, изучения современных методов экспериментального исследования гидромеханических, тепловых и массообменных процессов. При выполнении лабораторных работ студенты используют математические модели процессов, а также лабораторные установки, оснащенные датчиками для измерения различных параметров (температур, давлений, скорости, веса и т.д.). В лабораторных экспериментах определяются и исследуются кинетические закономерности изучаемых процессов. При моделировании исследуемых процессов и обработке результатов экспериментов применяются, как универсальные, так и специальные компьютерные программы [1].

Однако возможности традиционно используемых лабораторных установок огра-

ничены, во-первых, временными рамками занятий, а во-вторых, не всегда позволяют изучать процессы с учетом всех влияющих факторов. Устранить этот недостаток позволяет использование в лабораторном практикуме информационных технологий – виртуальных лабораторных работ [2]. Причем виртуальный лабораторный практикум призван не заменить классический, а дополнить и расширить его за счет интерактивного обучения, а значит существенно повысить качество освоения дисциплины.

Рассмотрим сочетание активного и интерактивного (виртуального) лабораторного практикума на примере лабораторной работы «Испытание лабораторного вакуум-фильтра», которая знакомит студентов с одним из важнейших разделов гидромеханических процессов – «Разделение неоднородных систем методом фильтрования».

Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

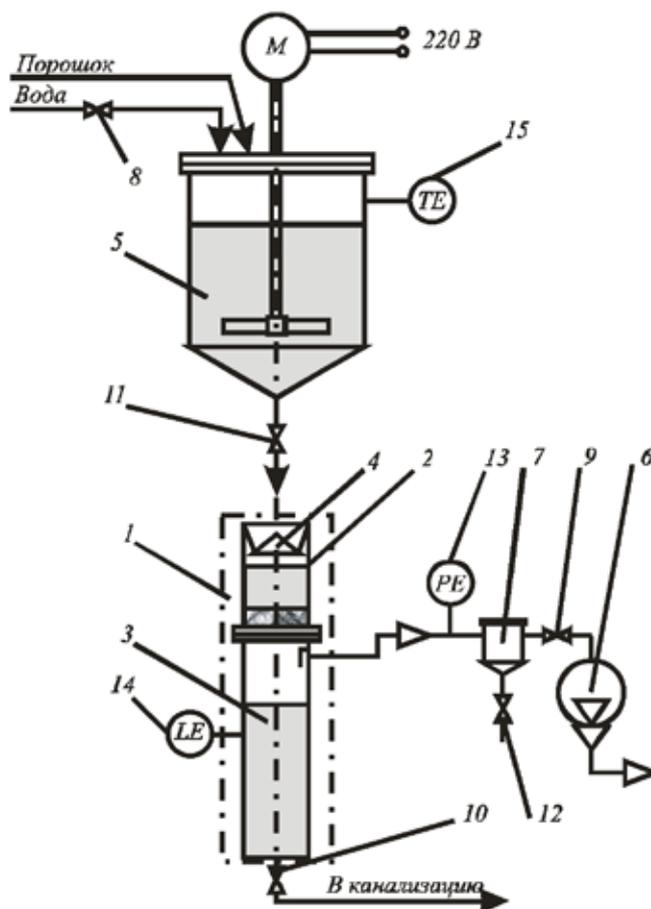


Рис. 1. Схема лабораторной установки:
 1 – нутч-фильтр; 2 – царга; 3 – сборник фильтрата; 4 – распределитель жидкости; 5 – бачок для суспензии; 6 – вакуум-насос; 7 – брызгоуловитель; 8, 9, 10 – вентили; 11, 12 – краны; 13 – вакуумметр; 14 – водомерная линейка; 15 – термометр

Основными элементами установки являются: нутч-фильтр 1, включающий царгу 2, сборник фильтрата 3 и распределитель 4; бачок для суспензии с мешалкой – 5; вакуум-насос – 6; брызгоуловитель – 7. Царга 2 и сборник фильтрата 3 разделяются фильтрующей перегородкой и опорной решеткой и соединяются между собой с помощью фланцевого соединения. Для измерения объема фильтрата сборник 3 снабжен водомерной линейкой 14, а для измерения вакуума – вакуумметром 13. Температура суспензии в бачке замеряется с помощью термометра 15. Вакуум в установке создается вакуум-насосом 6. Установка оснащена брызгоуловителем 7 и запорной арматурой 8–12.

Целью работы является определение констант фильтрования – удельного сопротивления осадка (индивидуальная характеристика осадка) и сопротивления фильтровальной перегородки (индивидуальная характеристика перегородки), которые не-

обходимо знать при расчете и подборе промышленных фильтров для разделения суспензий.

В основе лабораторной работы лежит основное кинетическое уравнение фильтрования [3]

$$\frac{dV_{\phi}}{Fd\tau} = \frac{\Delta p}{\mu \left(r_{oc} x_{oc} \frac{V_{\phi}}{F} + R_{\phi.п} \right)} \quad (1)$$

где V_{ϕ} – объем фильтрата, m^3 ; F – площадь фильтрования, m^2 ; τ – продолжительность фильтрования, с; Δp – разность давлений, Па; μ – вязкость жидкой фазы суспензии, $Pa \cdot s$; $R_{\phi.п}$ – сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} ; r_{oc} – удельное сопротивление осадка (сопротивление, оказываемое потоку фильтрата равномерным слоем осадка толщиной 1 м), m^{-2} ; x_{oc} – удельный объем осадка (объем осадка, отнесенный к объему фильтрата), m^3/m^3 .

На лабораторной установке фильтрование идет в режиме фильтрования с постоянным перепадом давления $\Delta p = \text{const}$. Для этого режима фильтрования после разделения переменных и интегрирования уравнения (1) получим

$$\frac{\mu r_{\text{ос}} x_{\text{ос}}}{2\Delta p} \left(\frac{V_{\text{ф}}}{F} \right)^2 + \frac{\mu R_{\text{фп}}}{\Delta p} \left(\frac{V_{\text{ф}}}{F} \right) = \tau. \quad (2)$$

В уравнении (2) величина $V_{\text{ф}}/F$ представляет собой удельный объем фильтрата – количество фильтрата на единицу поверхности фильтрования. Если обозначить эту величину через q , уравнение (2) примет вид

$$Aq^2 + Bq = \tau, \quad (3)$$

где A , B – коэффициенты уравнения, включающие константы фильтрования и определяемые по формулам

$$A = \frac{\mu r_{\text{ос}} x_{\text{ос}}}{2\Delta p}, \quad (4)$$

$$B = \frac{\mu R_{\text{фп}}}{\Delta p}. \quad (5)$$

Уравнение (3) может быть преобразовано в линейную зависимость:

$$\frac{\tau}{q} = Aq + B. \quad (6)$$

Эта зависимость на практике используется для нахождения констант фильтрования.

Первичными экспериментальными данными в работе являются данные по накоплению фильтрата в сборнике с течением времени $V_{\text{ф}} = f(\tau)$. По результатам обработки этих данных с использованием электронных таблиц EXCEL строят график зависимости (6) в координатах τ/q и q . На рис. 2 в качестве примера приведены результаты обработки одного из опытов.

На рис. 2 приведено уравнение, которое с достаточной точностью описывает зависимость $\tau/q = f(q)$. Следует отметить, что аналогичный подход к обработке экспериментальных данных, получаемых студентами, используется и при выполнении других лабораторных работ [1].

Искомые константы фильтрования легко определяются через численные значения коэффициентов:

– $A = 689,58$ (тангенс угла наклона прямой);

– $B = 546,43$ (отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат).

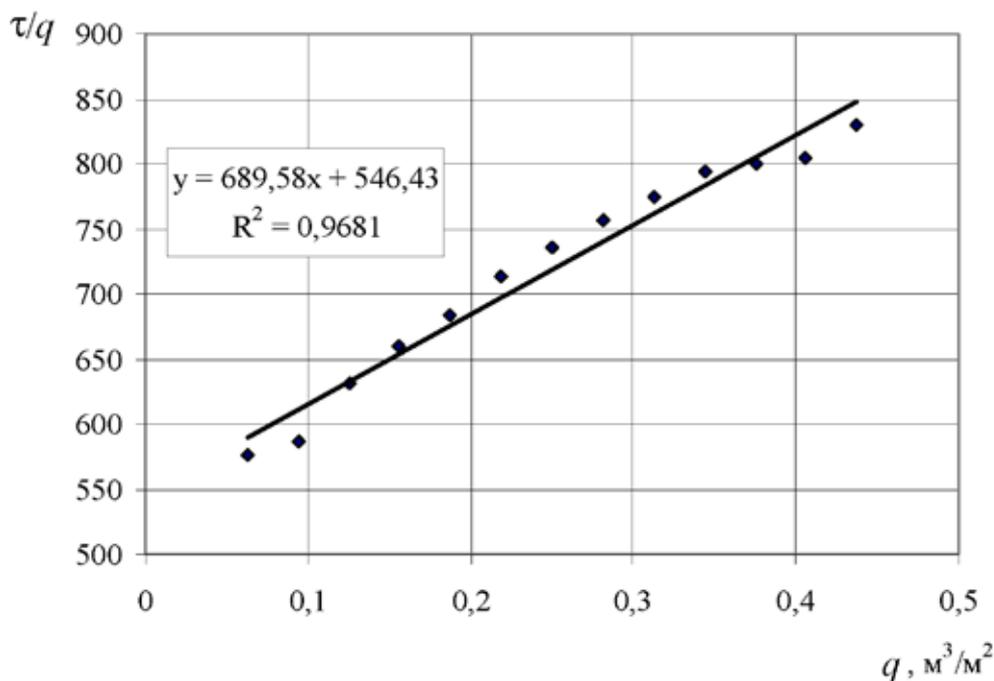


Рис. 2. График к определению констант фильтрования

По величине коэффициента A определяется удельное сопротивление осадка r_{oc}

$$r_{oc} = \frac{2\Delta p A}{\mu x_{oc}}, \quad (7)$$

Сопротивление фильтрующей перегородки $R_{ф.п}$ определяется по коэффициенту B

$$R_{ф.п} = \frac{\Delta p B}{\mu}. \quad (8)$$

Так для условий экспериментов, представленных на рис. 2, значения констант фильтрации составляют

$$r_{oc} = 1,96 \cdot 10^{12} \text{ м}^{-2};$$

$$R_{ф.п} = 1,98 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}.$$

Полученные значения констант сопоставляются студентом с аналогичными ха-

рактеристиками в справочных материалах по фильтрованию [4, 5].

Интерактивная (виртуальная) часть работы выполняется на компьютере. Виртуальная модель лабораторной работы разработана в среде Flash (рис. 3).

Программа обеспечивает:

- интерактивное ознакомление с выполнением лабораторной работы (рис. 4);
- ответы на простейшие тесты (рис. 5), по результатам которых программа дает разрешение на выполнение интерактивной части;
- задачу первичных исходных параметров процесса в достаточно широком диапазоне (рис. 6);
- выполнение интерактивного варианта лабораторной работы аналогично последовательности выполнения активной работы, при этом получаем тех же самые опытные величины (рис. 7).

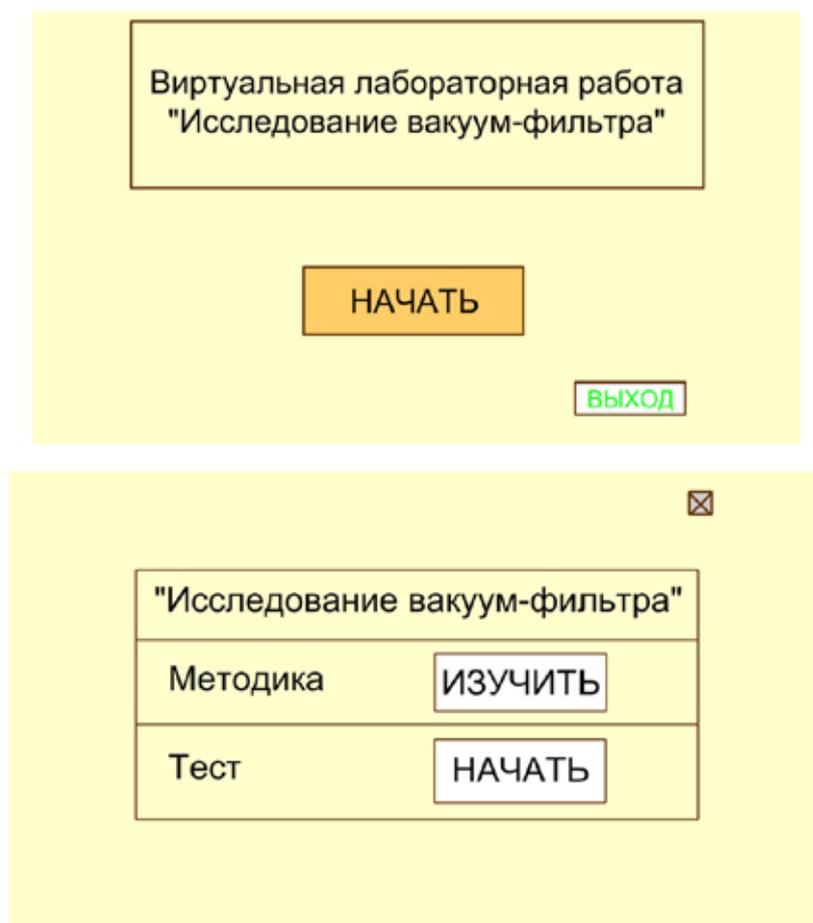


Рис. 3. Заставки виртуальной работы

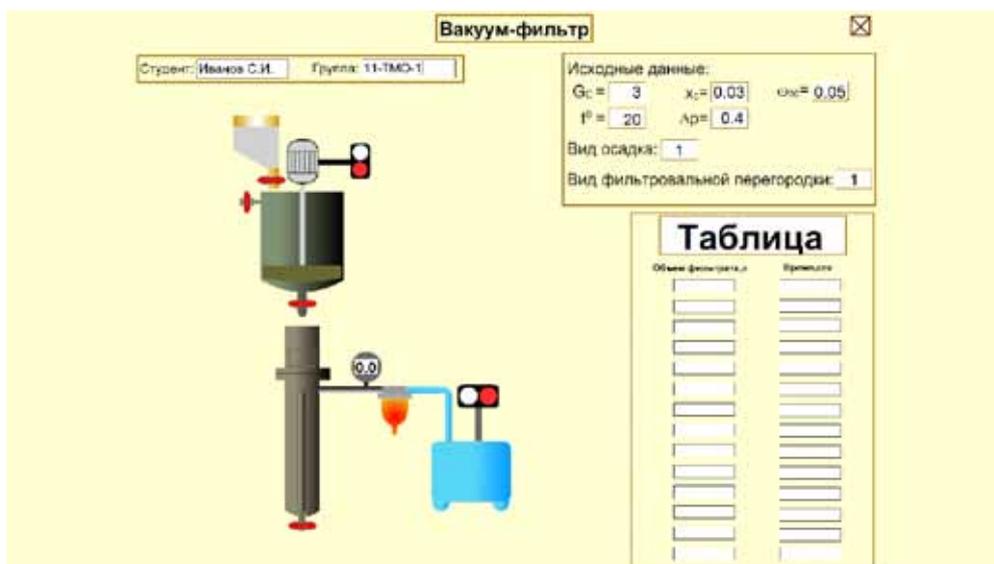


Рис. 6. Задача первичных исходных данных

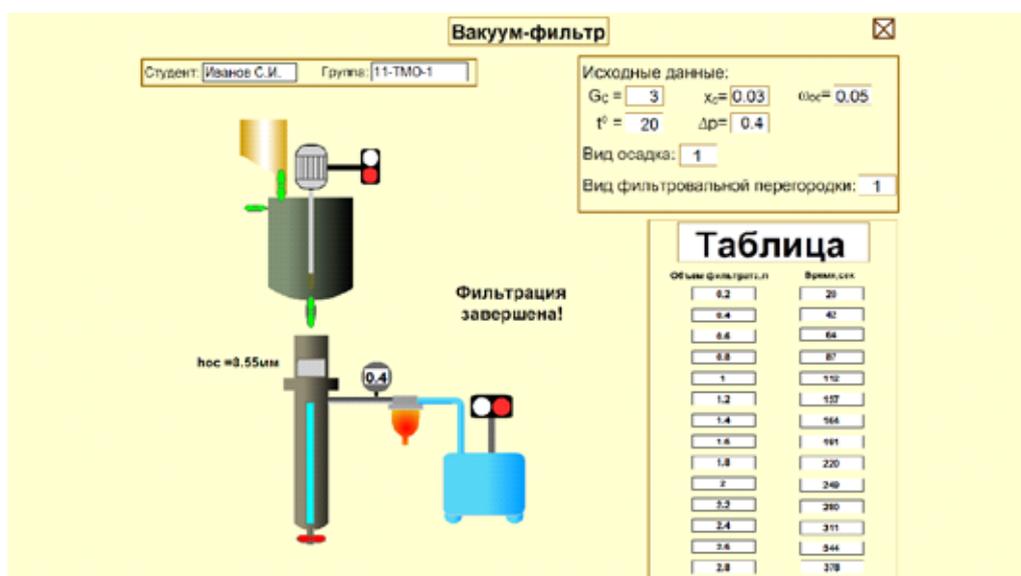


Рис. 7. Результаты интерактивной части работы

Обработка результатов интерактивной части лабораторной проводится студентами так же, как и активной. Строится график зависимости $\tau/q = f(q)$ (рис. 2) и определяются по формулам (7) и (8) константы фильтрования $r_{ос}$ и $R_{фп}$. Результаты расчетов констант сравниваются с величинами, заложенными в алгоритм программы, и характеризующими конкретные виды осадка и фильтровальной перегородки.

Проведение интерактивной части работы при разных исходных данных позволяет наглядно продемонстрировать студентам зависимость констант от вида осадка и фильтровальной перегородки, и их не зависимость от условий проведения опытов.

Такой комплексный вариант выполнения лабораторных работ позволяет расши-

рить возможности традиционно используемого лабораторного практикума и в ходе его выполнения изучать процессы с учетом всех определяющих их факторов, что, в свою очередь, развивает творческий подход студентов к работе в лаборатории.

Список литературы

1. Смирнов С.И., Рузанов С.Р. Особенности постановки лабораторного практикума по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: www.science-education.ru/120-16340 (дата обращения: 06.11.2015).
2. Гамбург К.С. Виртуальные стендовые лабораторные работы как инновационная форма контекстного обучения: дис... канд. пед. наук: 13.00.01. – М., 2006. – 186 с. РГБ ОД, 61:07-13/721.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 2009. – 752 с.
4. Жужиков В.А. Фильтрация: Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. – 400 с.
5. Малиновская и др. Разделение суспензий в химической промышленности. – М.: Химия, 1983. – 264 с.