

Красильникова А. А.,
Кондратов С. А.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО МОНОНИТРОВАНИЯ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ СЛАБОЙ АЗОТНОЙ КИСЛОТОЙ

Разработана усовершенствованная математическая модель процесса адиабатического нитрования в виде системы дифференциальных уравнений. На модели показана возможность использования слабой HNO_3 для проведения адиабатического нитрования бензола и толуола. Проведение процесса отгонки избытка углеводорода под вакуумом за счет теплоты нитрования позволяет удалить из массы большую часть бензола и толуола (от 50 до 90 %).

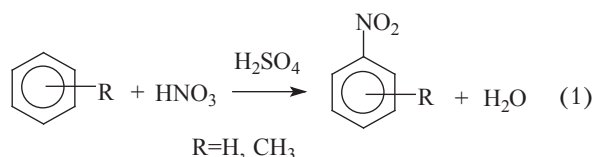
Ключевые слова: адиабатическое нитрование, бензол, толуол, математическая модель, слабая азотная кислота, давление, дистиллят.

1. Введение

Мононитрование бензола и толуола — важнейшие процессы органического синтеза. Нитробензол и мононитротолуолы — исходные вещества в синтезе нескольких сот промышленных продуктов: полимеров, красителей, взрывчатых веществ, пестицидов, лекарственных препаратов и химикатов для резины. Общий объем их производства составляет несколько миллионов тонн и имеет тенденцию к возрастанию [1–4]. Актуальной проблемой является совершенствование технологии нитрования с минимизацией энергозатрат и выбросов в окружающую среду.

2. Анализ проблемы и постановка задачи

Единственный промышленный способ получения мононитросоединений ароматического ряда — взаимодействие углеводорода с нитросмесью (смесью азотной и серной кислот) в условиях непрерывного процесса:



Недостатками традиционной технологии: значительные энергетические затраты на регенерацию серной кислоты и связанные с этим экологические проблемы.

В настоящее время одним их наиболее прогрессивных вариантов этой технологии считается адиабатическое нитрование, заключающееся в использовании теплоты, выделяющейся в процессе, для регенерации серной кислоты. Для полного расходования азотной кислоты процесс проводят в избытке бензола при высокой температуре (до 120–170 °С). За счет высокой температуры из массы производится отгонка воды и укрепление серной кислоты до концентрации, позволяющей использовать ее для приготовления нитросмеси [5–8].

Ввиду проблем и опасности проведения экспериментов по нитрованию в промышленном масштабе особая роль в исследованиях процессов высокотемпературного адиабатического нитрования должна принадлежать компьютерному моделированию. Ранее [9, 10] авторы данной работы разработали компьютерную имитационную модель адиабатического нитрования, которая позволяет рассчитать состав и количество отгона и концентрацию серной кислоты в дистилляте в зависимости от количества подведенного тепла, состава нитросмеси, мольного соотношения азотная кислота-бензол при нитровании и давления в системе. Существенным недостатком этой модели является низкая скорость сходимости, что сильно требует большого количества итераций и сильно замедляет работу программы.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом нашего исследования является процесс адиабатического мононитрования ароматических углеводородов, совмещенный с отгонкой низкокипящих компонентов за счет теплоты реакции.

Целью настоящей работы является исследование методами математического моделирования возможности использования слабой азотной кислоты для проведения адиабатического нитрования бензола.

Для этого необходимо разработать усовершенствованную модель процесса адиабатического нитрования, на которой изучить влияние технологических факторов.

4. Методы исследования

Для приготовления нитросмесей для адиабатического нитрования на практике используют высококонцентрированную (98–99 %-ную) азотную кислоту, которая является наиболее дорогостоящим сортом азотной кислоты. С точки зрения себестоимости продукции представляет практический интерес использование для нитрования слабой азотной кислоты с концентрацией 56–58 %, доступного и наиболее дешевого сорта этого продукта [11]. Ранее [12] авторами статьи была

разработана компьютерная модель материального и теплового баланса приготовления нитросмеси для нитрования бензола на основе 56–58 %-ной азотной кислоты с последующим локальным концентрированием отработанной серной кислоты до требуемой концентрации для возврата в цикл. Было показано, что использование неконцентрированной азотной кислоты, в сочетании с локальным концентрированием отработанной кислоты с точки зрения энергозатрат [12] оказывается более выгодным, чем традиционная организация производства, основанная на использовании 98–99 %-ной азотной кислоты в сочетании с денитрацией и укреплением серной кислоты до 92–96 %-ной на общезаводских установках [13].

5. Результаты исследования процесса адиабатического нитрования

5.1. Описание модели адиабатического нитрования, совмещенного с отгонкой. При разработке модели непрерывного стационарного процесса адиабатического нитрования использовали следующие допущения:

- пренебрегали протеканием побочных процессов; считали, что нитрование бензола в условиях высокотемпературного адиабатического синтеза протекает мгновенно со 100 % превращением в нитробензол;
- считали, что равновесия физико-химических процессов в системе устанавливаются мгновенно;
- не учитывали потери тепла в ходе процесса.

Основные вычисления по модели проводили на примере мононитрования бензола и толуола по реакции (1) при использовании 58 % азотной кислоты, использованной для приготовления нитросмеси, в расчете на 1 кмоль азотной кислоты, при избытке ароматического углеводорода (10–40 %).

Состав нитросмеси рассчитывали по [12], из расчета получения после полного исчерпания HNO_3 отработанной кислоты, содержащей 71 % серной кислоты.

Процесс адиабатического нитрования состоит из 2 фаз: нитрования и отгонки за счет тепла реакций в системе. Для первой фазы, исходя из полного превращения азотной кислоты по уравнению (1), рассчитывали энтальпию массы – смеси нитрозамещенное – углеводород – отработанная серная кислота по методике [9, 10].

Для получения модели фазы отгонки рассмотрим гетерогенную систему, которая в некоторый момент времени содержит m кмоль, соответственно, следующих компонентов (в мольных долях): ароматического соединения – x_1 , нитросоединения – x_2 , воды – x_3 , серной кислоты – x_4 . Пусть из этой системы при кипении перешло в паровую фазу dm кмоль компонентов (органических веществ и воды), и паровая фаза в равновесном состоянии содержит y_1, y_2, y_3 мольных долей, соответственно, ароматического соединения, нитросоединения и воды. При этом:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1; \quad y_1 + y_2 + y_3 = 1. \quad (2)$$

Рассмотрим произвольный i -тый компонент ($i = 1, 2, 3$). В жидкой фазе осталось $m - dm$ кмоль, в том числе i -го компонента: $m \cdot x_i - dm \cdot y_i$ кмоль. Для изменения мольной доли i -того компонента можно записать:

$$x_i - dx_i = \frac{m \cdot x_i - dm \cdot y_i}{m - dm};$$

$$dx_i = x_i - \frac{m \cdot x_i - dm \cdot y_i}{m - dm} = \frac{(y_i - x_i)dm}{m - dm}. \quad (3)$$

Разделив обе части (3) на $dm \rightarrow 0$, получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx_i}{dm} = \frac{y_i - x_i}{m}, \quad (4)$$

при начальных условиях: $x_i(m_0) = x_i^0$ ($i = 1, 2, 3$), где индекс «0» относится к начальному состоянию системы.

Из (4) в дифференциальной форме получаем:

$$\frac{dx_4}{dm} = - \left(\frac{dx_1}{dm} + \frac{dx_2}{dm} + \frac{dx_3}{dm} \right) = - \frac{y_1 - x_1 + y_2 - x_2 + y_3 - x_3}{m} = - \frac{(y_1 + y_2 + y_3) - (x_1 + x_2 + x_3)}{m} = - \frac{1 - (1 - x_4)}{m}. \quad (5)$$

После сокращения получаем дифференциальное уравнение:

$$\frac{dx_4}{dm} = \frac{x_4}{m}, \quad (6)$$

при начальном условии: $x_4(m_0) = x_4^0$.

Для замыкания системы авторы статьи получили дифференциальное уравнение для уноса тепла с паровой фазой. Энтальпия, уносимая $y_i dm$ моль i -ого компонента паровой фазы складывается из суммы энтальпий испарения и паровой фазы:

$$d(\Delta H_i^{\text{нпoc}}) = [L_i^{\text{нпc}} + c_i \cdot (T_{\text{кнп}} - 273)] \cdot y_i \cdot dm, \quad (7)$$

где c_i – средняя изобарная теплоемкость компонента в интервале температур от 273 К (стандартная температура начала отсчета энтальпии) до температуры кипения. Учитывая сравнительно невысокий интервал температур (не более 200 К), за среднее значение принимали значение теплоемкости при 298 К). Для нормировки уравнения (7) и перехода к безразмерной переменной $\Delta H_i^{\text{отн}}$, разделим обе части (7) на величину Q_0 – начальное теплосодержание жидкой фазы. Просуммировав по всем компонентам и разделив на dm , получим пятое уравнение системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{d(\Delta H_i^{\text{отн}})}{dm} = \frac{\sum_{i=1}^3 [L_i^{\text{нпc}} + A_i \cdot (T_{\text{кнп}} - 273)]}{Q_0}. \quad (8)$$

Учитывая, что процессы адиабатического нитрования проводят при избытке ароматического углеводорода, начальные условия для интегрирования относили к смеси, которая получается при проведении нитрования

в расчете на 1 кмоль азотной кислоты, при варьировании соотношения HNO_3 — ароматический углеводород и HNO_3 — H_2SO_4 .

В системе дифференциальных уравнений неизвестной является величина m , отвечающая конечной точке интегрирования. Ее значение можно найти из условия установления равенства температуры массы и температуры кипения. Исходя из этого, интегрирование системы проводили методом Рунге-Кутты 4 порядка с постоянным шагом $\Delta t = 0,01$ следующим образом. На каждом шаге метода рассчитывали:

- состав жидкой фазы и ее характеристики: теплоемкость, температуру кипения $T_{\text{кип}}$;
- мольный состав паровой фазы и ее энтальпию;
- остаточную энтальпию жидкой фазы и ее температуру $T_{\text{ж}}$.

Если выполняется условие: $T_{\text{ж}} - T_{\text{кип}} > 0$ — продолжаем интегрирование. Как только первый раз будет выполнено условие $T_{\text{ж}} - T_{\text{кип}} < 0$ — расчеты прекращаем и производим линейную интерполяцию всех полученных величин на $T_{\text{ж}} - T_{\text{кип}} = 0$.

Расчеты вспомогательных величин: температуры кипения, теплота испарения воды из серной кислоты и других проводили по методике, описанной авторами ранее [10].

Сравнение алгоритмов настоящей модели в виде системы дифференциальных уравнений, и имитационной модели, описанной авторами статьи ранее [10], показывает, что последнюю можно рассматривать, как реализацию метода Эйлера для решения этой системы, имеющего лишь первый порядок сходимости. Явная запись модели в виде системы дифференциальных уравнений позволяет использовать для решения метод Рунге-Кутты, который имеет четвертый порядок сходимости, что позволяет сильно ускорить вычисления.

Расчет температур кипения и состава паровой фазы проводили с учетом возможной неидеальности раствора. Коэффициенты активности компонентов вычисляли методом UNIFAC [14]. Все расчеты производили в среде пакета прикладной математики Scilab с помощью скриптов, составленных на внутреннем языке пакета.

5.2. Влияние технологических факторов на процесс адиабатического нитрования бензола и толуола. Ранее [12] авторы статьи обосновали, что процесс нитрования бензола в рамках рассмотренной парадигмы организации процесса следует проводить нитросмесью, содержащей 1 кмоль HNO_3 , 5,79 кмоль H_2SO_4 и 11,26 кмоль воды на 1 кмоль бензола, и 1 кмоль HNO_3 , 6,09 кмоль H_2SO_4 и 13,22 кмоль воды на 1 кмоль толуола. Отметим, что приведенный состав нитросмеси можно рассматривать, как базовую нитросмесь (1 кмоль HNO_3 , 1,2 кмоль H_2SO_4 , 1,5 кмоль H_2O), разбавленную отработанной 72 %-ной серной кислотой в соотношении 1 : 3). В итоге суммарная масса на 1 кмоль продуктов нитрования существенно возрастает, вследствие чего изменяется температура адиабатического процесса. Результаты расчетов предельной температуры массы с использованием этой нитросмеси, в зависимости от избытка бензола, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Предельная температура массы в зависимости от избытка бензола

Избыток бензола, %	10	20	30	40
Температура массы, °C	103,5	102,9	102,3	101,7

Как следует из этих данных, температура системы на выходе значительно ниже, чем в адиабатических процессах нитрования, описанных в источниках литературы [5–8] (120–170 °C). В этой связи возникает вопрос, можно ли использовать внутреннее тепло системы для частичного разделения смеси.

При расчетах было установлено, что эта температура значительно ниже, чем температура нормального кипения смеси. Поэтому расчеты проводили для отгонки в вакууме при остаточном давлении 13,33 и 26,67 кПа (100 и 200 мм рт. ст.). Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материальный баланс по стадии адиабатического нитрования бензола

Избыток бензола, кмоль	0,1	0,2	0,3	0,4
$P = 13,33$ кПа (100 мм рт. ст.)				
Куб				
Бензол	1,06 (13,6 %)	1,48 (9,5 %)	1,75 (7,49 %)	2,03 (6,51 %)
Нитробензол	120,73 (98,2 %)	120,66 (98,1 %)	120,63 (98,1 %)	120,65 (98,1 %)
Серная	567,62	567,62	567,62	567,62
Вода	216,52	216,24	216,27	216,29
Дистиллят				
Бензол	6,74	14,12	21,65	29,17
Нитробензол	2,27	2,34	2,37	2,35
Вода	0,85	1,13	1,10	1,07
$T_{\text{кип}}$	101	98	97	95
$P = 26,67$ кПа (200 мм рт. ст.)				
Куб				
Бензол	5,19 (66,5 %)	5,84 (37,4 %)	6,64 (42,6 %)	7,34 (47,03 %)
Нитробензол	122,44 (99,5 %)	121,81 (99,03 %)	121,63 (98,9 %)	121,54 (98,8 %)
Серная	567,62	567,62	567,62	567,62
Вода	217,15	216,92	216,49	216,07
Дистиллят				
Бензол	2,61	9,76	8,96	8,26
Нитробензол	0,56	1,19	1,37	1,46
Вода	0,22	0,45	0,88	1,30
$T_{\text{кип}}$	102	100	98	96

Как следует из табл. 2, при остаточном давлении 13,33 кПа, в зависимости от избытка бензола, в кубе остается лишь от 6,5 до 13 % бензола от первоначального количества, а большая часть бензола отгоняется и переходит в дистиллят. При этом количества нитробензола и воды, отгоняемые в дистиллят, относительно невелики.

При давлении 26,67 кПа содержание бензола в кубовой жидкости существенно увеличивается, поэтому целесообразно вести отгонку при давлении не выше 13,33 кПа.

Аналогичные закономерности наблюдаются и для адиабатического нитрования толуола нитросмесью, содержащей 1 кмоль HNO_3 , 6,09 кмоль H_2SO_4 и 13,22 кмоль

воды на 1 кмоль толуола (табл. 3). В этом случае, температура массы снижается до 98 °С, что делает невозможным отгонку при давлении выше 13,33 кПа. При этом, до 50 % толуола остается в кубовой жидкости.

Таблица 3

Материальный баланс по стадии адиабатического нитрования толуола

Избыток толуола, кмоль	0,1	0,2	0,3	0,4
$P = 13,33$ кПа (100 мм рт. ст.)				
Куб				
Толуол	4,36 (47,4 %)	5,91 (32,1 %)	7,48 (27,1 %)	9,01 (24,5 %)
Нитротолуол	135,64 (99 %)	135,01 (98,6 %)	134,77 (98,4 %)	134,63 (98,3 %)
Серная кислота	596,72	596,72	596,72	596,72
Вода	254,87	254,29	254,02	253,82
Дистиллят				
Бензол	4,85	12,50	20,12	27,79
Нитротолуол	1,36	1,99	2,23	2,37
Вода	1,12	1,70	1,98	2,17
$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	96,4	93,8	91,6	89,8

6. Обсуждение результатов исследования процесса адиабатического нитрования, совмещенного с отгонкой

Полученные результаты указывают, что нитросмеси, приготовленные с использованием слабой азотной кислоты, принципиально возможно использовать для адиабатического нитрования. При этом тепло, образующееся в ходе адиабатического процесса, может быть использовано для частичной отгонки смеси углеводорода, нитросоединения и воды под вакуумом. Дистиллят, после отделения от воды, можно возвращать на стадию нитрования взамен чистого углеводорода. Кубовую жидкость следует, как в традиционной технологии, направлять на разделение слоев. Нитробензольный слой, как обычно, следует промывать от остатков кислоты и отгонять остатки бензола для получения товарного продукта, кислотный слой направлять на локальную отгонку воды и укрепление до концентрации 79 % [12] и возвращать на приготовление нитросмеси.

Авторы статьи, анализируя полученные результаты в сочетании с результатами предыдущих своих исследований [9, 10], отмечают, что положительным результатом от использования слабой азотной кислоты для адиабатического нитрования является использование дешевого и доступного сырья и частичное использование тепла для отгонки части избытка углеводорода. Вместе с тем, снижение концентрации азотной кислоты с 99 до 58 % требует использования для приготовления нитросмеси с требуемым фактором нитрующей активности значительных количеств серной кислоты. Это вызывает снижение температуры процесса и делает невозможным полную отгонку воды из системы за счет тепла реакций для получения серной кислоты, которую можно вернуть в цикл без дополнительного укрепления. Поэтому остается необходимой стадия укрепления отработанной серной кислоты, например в экономичном варианте локальной установки [12].

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и создании промышленных и опытно-промышленных установок адиабатического нитрования ароматических углеводородов.

7. Выводы

1. Разработана усовершенствованная модель процесса адиабатического нитрования, совмещенного с отгонкой, в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений.
2. На полученной математической модели исследованы закономерности нитрования бензола и толуола.
3. Показано, что тепло, образующееся в ходе адиабатического процесса, может быть использовано для частичной отгонки смеси углеводорода, нитросоединения и воды под вакуумом.

Литература

1. Грейш, А. А. Нитрование ароматических углеводородов на гетерогенных катализаторах [Текст] / А. А. Грейш // Российский химический журнал. — 2004. — Т. 48, № 6. — С. 92–104.
2. Збарский, В. Л. Толуол и его нитропроизводные [Текст] / В. Л. Збарский, В. Ф. Жилин. — М.: Эдиториал УРСС, 2000. — 272 с.
3. Жилин, В. Ф. Синтез и технология нитропроизводных бензола и толуола [Текст] / В. Ф. Жилин, В. Д. Збарский // Российский химический журнал. — 2006. — Т. 50, № 3. — С. 104–115.
4. Беркман, Б. Е. Промышленный синтез ароматических нитросоединений и аминов [Текст] / Б. Е. Беркман. — М.: Химия, 1964. — 344 с.
5. Process for the continuous preparation of nitrobenzene [Electronic resource]: Patent US 8357827 B2 / Munnig J., Pennemann B., Rausch A. K.; assignee: Bayer Materialscience Ag. — № 13/019,350; filed 02.02.2011; published 22.01.2013. — Available at: \www/URL: <http://www.google.com.ar/patents/US8357827>
6. Quadros, P. A. Continuous adiabatic industrial benzene nitration with mixed acid at a pilot plant scale [Text] / P. A. Quadros, N. M. C. Oliveira, C. M. S. G. Baptista // Chemical Engineering Journal. — 2005. — Vol. 108, № 1–2. — P. 1–11. doi:10.1016/j.cej.2004.12.022
7. Continuous adiabatic process for the mononitration of benzene [Electronic resource]: Patent US 4091042 A / Alexander V., Trecek J. B., Vanderwaart C. M.; assignee: American Cyanamid Company. — № 05/826,208; filed 19.08.1977; published 23.05.1978. — Available at: \www/URL: <http://www.google.com/patents/US4091042>
8. Process for the preparation of nitrobenzene by adiabatic nitration [Electronic resource]: Patent US 7781624 B2 / Rausch A., Knauf T., Bolton J., Racoos A.; assignee: Bayer Materialscience Ag. — № 12/315,907; filed 08.12.2008; published 24.08.2010. — Available at: \www/URL: <http://www.google.com/patents/US7781624>
9. Кондратов, С. А. Модель адиабатического нитрования ароматических соединений [Текст] / С. А. Кондратов, А. А. Красильникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 3/6(63). — С. 16–20. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/14783>
10. Кондратов, С. А. Моделирование непрерывного адиабатического нитрования бензола [Текст] / С. А. Кондратов, А. А. Красильникова // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2013. — № 6/6(66). — С. 15–19. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/19128>
11. Кузнецов, Д. А. Производство серной кислоты [Текст] / Д. А. Кузнецов. — М.: Высшая школа, 1968. — 296 с.
12. Красильникова, А. А. Технологический аудит процесса приготовления нитросмеси для нитрования бензола и толуола с использованием неконцентрированной азотной кислоты [Текст] / А. А. Красильникова, С. А. Кондратов // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — № 1/4(21). — С. 26–31. doi:10.15587/2312-8372.2015.38042

13. Орлова, Е. Ю. Химия и технология бризантных взрывчатых веществ [Текст] / Е. Ю. Орлова. — Л.: Химия, 1981. — 312 с.
14. Уэйлес, С. Фазовые равновесия в химической технологии [Текст] / С. Уэйлес. — М.: Мир, 1989. — 304 с.

МОДЕЛЮВАННЯ АДІАБАТИЧНОГО МОНОІТРУВАННЯ АРОМАТИЧНИХ ВУГЛЕВОДІВ СЛАБКОЮ АЗОТНОЮ КИСЛОТОЮ

Розроблена вдосконалена математична модель процесу адіабатичного нітрування у вигляді системи диференціальних рівнянь. На моделі показана можливість використання слабкої HNO_3 для проведення адіабатичного нітрування бензолу і толуолу. Проведення процесу відгону надлишку вуглеводню під вакуумом за рахунок теплоти нітрування дозволяє видалити з маси більшу частину бензолу і толуолу (від 50 до 90 %).

Ключові слова: адіабатичне нітрування, бензол, толуол, математична модель, слабка азотна кислота, тиск, дистиллят.

Красильникова Анна Александровна, аспірант, Інститут хімічних технологій Восточноукраїнського національного університету ім. В. Дала, Рубіжне, Україна, e-mail: krasina@list.ru.

Кондратов Сергей Алексеевич, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики та комп'ютерної технології, Інститут хімічних технологій Восточноукраїнського національного університету ім. В. Дала, Рубіжне, Україна, e-mail: kondratovsa@gmail.com.

Красильникова Анна Олександрівна, аспірант, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Дала, Рубіжне, Україна.

Кондратов Сергій Олексійович, доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри вищої математики та комп'ютерних технологій, Інститут хімічних технологій Східноукраїнського національного університету ім. В. Дала, Рубіжне, Україна.

Krasyl'nikova Anna, Institute of Chemical Technology, Volodymyr Dahl East Ukrainian University, Rubizhne, Ukraine, e-mail: krasina@list.ru.

Kondratov Serhii, Institute of Chemical Technology, Volodymyr Dahl East Ukrainian University, Rubizhne, Ukraine, e-mail: kondratovsa@gmail.com

УДК 606:628.35

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.43695

Швед О. М.,
Червцова В. Г.,
Петріна Р. О.,
Новіков В. П.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БІОТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

У даній роботі розглянуто варіанти сучасних біотехнологій очищення побутових стічних вод, що можуть бути застосовані у масштабах малих міст та селищ міського типу з продуктивністю за стічними водами від 100 до 10 000 м³/добу. Обрано технології, що здатні забезпечити необхідний, згідно норм, ступінь очищення і визначено найбільш економічні.

Ключові слова: очищення стічних вод, біотехнологія, ресурсозбереження, малі населені пункти, біоінженерні ставки.

1. Вступ

В процесі своєї діяльності людство безперервно виробляє велику кількість твердих, рідких та газоподібних побічних продуктів, які прийнято називати відходами. Побічні продукти господарсько-побутової діяльності людини виводяться з місць їх походження системами спільної каналізації, в результаті чого утворюється гетерогенна суміш води, численних хімічних речовин та мікроорганізмів — стічні води. Перед поверненням цих вод в природні водні об'єкти необхідно забезпечити знешкодження шкідливих для довкілля речовин та мікроорганізмів, а також видалення надлишкової кількості поживних речовин, та, при можливості, забезпечити їх повторне використання.

Забезпечення належної практики очищення стічних вод є однією з ключових передумов для збалансованого розвитку будь-якого суспільства. Питання захисту навколишнього середовища від забруднення стічними водами сьогодні особливо актуальне для України. У разі, якщо не змінити недосконалі методи управління економікою та неефективні технології захисту довкілля, які Україна успадкувала від радянського режиму, країна впевнено наблизиться до екологічної катастрофи.

2. Аналіз літературних даних про стан галузі водоочищення та постановка проблеми

Особливо критичною є ситуація з очищенням стічних вод малих (до 50 тис. жителів) населених пунктів. Це пов'язано з тим, що для малих міст та селищ міського типу часто характерний брак фінансово-економічних ресурсів, і тому питання захисту довкілля у них часто ігноруються [1]. У більшості населених пунктів даного масштабу в Україні очисні споруди працюють неефективно, а в деяких не працюють узагалі. При цьому варто зазначити, що малі міста є найчисельнішою за кількісним складом групою міст, і в них проживає близько 13 % населення України [2].

Раціональним шляхом вирішення проблем захисту і відновлення довкілля є впровадження у практику водоочищення ресурсозберігаючих біотехнологій [3]. Залежно від сучасного стану кожного проблемного очисного об'єкту можлива або його технологічна реконструкція, або демонтаж та будівництво нового. В обох випадках нові технології повинні забезпечувати необхідний рівень очищення та характеризуватись мінімальною затратою матеріальних, трудових та енергетичних ресурсів [4]. Нові споруди також повинні витримувати добові