

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОУЛЬТРАФИЛЬТРАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАСТВОРОВ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

© А.А. Лавренченко¹⁾, С.И. Лазарев¹⁾, Д.С. Лазарев²⁾,
А.А. Арзамасцев²⁾, Д.Н. Протасов¹⁾, В.Ю. Богомолов¹⁾

¹⁾ Тамбовский государственный технический университет
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Советская, 106
E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

²⁾ Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина
392000, Российская Федерация, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33
E-mail: arz_sci@mail.ru

Поистине революционные возможности мембранных процессов в технологическом обновлении отечественной промышленности особенно актуальны в период переориентации российской экономики на импортозамещение, преодоления последствий экономических санкций и «отключения» России от передовых западных технологий. Как известно, мембраны и мембранные технологии давно уже отнесены к приоритетным научным направлениям, в которых российские ученые опережают мировой уровень. Потребность применения мембранной технологии и мембран в биохимическом производстве диктует необходимость проведения экспериментальных исследований с целью совершенствования технологии очистки промышленных стоков и методического обоснования эффективности такой технологии. В работе предложена методика расчета эколого-экономической эффективности процесса утилизации промышленных растворов биохимических производств путем электроультрафильтрационной очистки. Разработанная методика позволяет оценить и рассчитать эффективность повторного использования продуктов биохимического производства в хозяйственном обороте. В качестве информационного материала использованы результаты экспериментальных исследований по разделению промышленных растворов путем электроультрафильтрационной очистки, а также данные завода «Биохим» по параметрам экономической оценки себестоимости очистки стоков производства.

Ключевые слова: технологический раствор; мембранная технология; эффективность; фильтрат и концентрат; электробаромембранный аппарат

ВВЕДЕНИЕ

В процессе производства этилового спирта и хлебопекарных дрожжей из свеклосахарной мелассы образуются технологические растворы в виде слабокислой барды, которую практически не используют в хозяйственном обороте ОАО «Биохим». Основной из трудностей в утилизации технологических вод биохимических производств является переработка жидкой фазы – фугата.

Для эффективного решения задач по переработке промышленного раствора предложено включить в технологическую схему очистки стоков ОАО «Биохим» оборудование мембранной фильтрации – электробаромембранный аппарата трубчатого типа (патент № 2540363 РФ МПК В01D61/42) (рис. 1). Основное назначение фильтрационной установки – обессолить, минерализовать раствор, разделив при этом фугат на два потока: фильтрат с низким ХПК и БПК и концентрат с содержанием сухих веществ до 50 %, что позволяет далее более эффективно переработать его в корм животным [1].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения оценки экономической эффективности использования мембранной технологии в процессе очистки сточных вод на биохимическом предприятии были проведены расчеты на основе данных по заводу и полученных результатов по сорбционным параметрам и коэффициентам проницаемости мембранных процессов в производстве разделения промышленных растворов [2].

На заводе установлено 6 карт-отстойников. Технологические воды (барда) очищаются механическим способом, т. е. после их отстаивания жидкая фаза отделяется и сбрасывается в городские канализационные сети, а твердая фаза в виде «сжиженного» осадка вывозится тракторами за пределы завода.

За месяц вывозят 8966 тонн технологического раствора, что примерно соответствует ее объемному выражению – 8888 м³ (на 1000 декалитров спирта приходится ориентировочно 120 м³ барды – технологического раствора). Среднемесячный выпуск продукции на заводе составляет 74000 декалитров спирта. Очистные сооружения завода представлены карт-отстойниками (табл. 1).

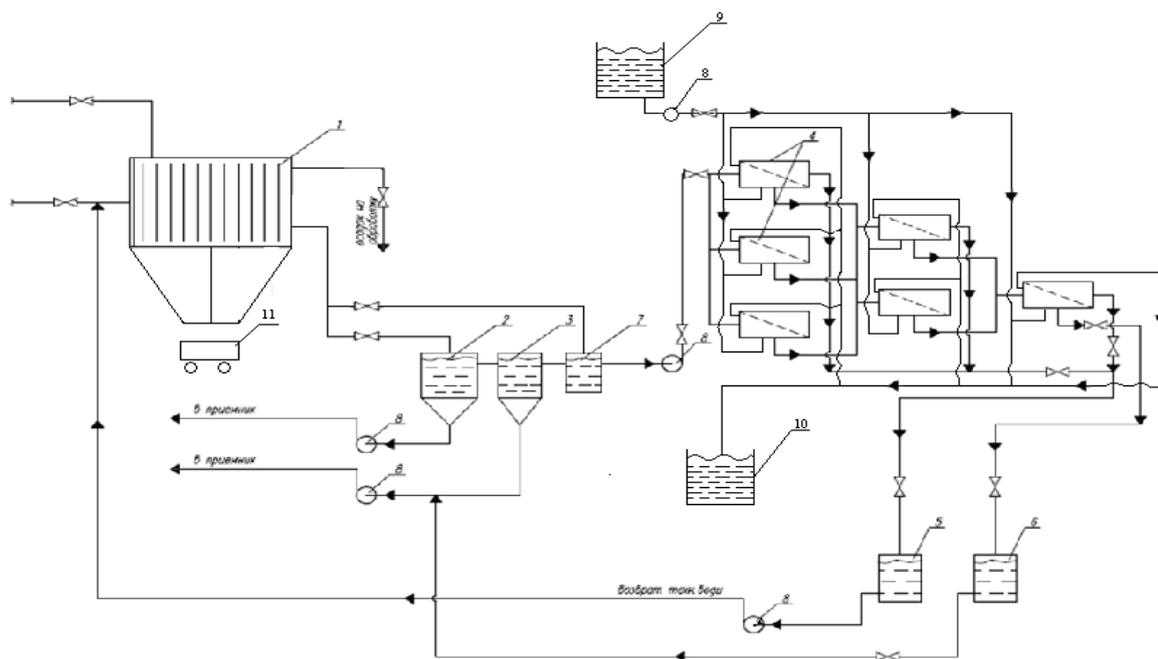


Рис. 1. Технологическая схема очистки промышленных растворов биохимических производств

Таблица 1

Данные по очистным сооружениям ОАО «Биохим»

Карт-отстойники		Первоначальная стоимость единицы оборудования, $\Phi_{\text{нз}}$ руб.	Месячная амортизация единицы оборудования, %
1	Карт-отстойник (2 ед.)	383789,84	2907,5
2	Карт-отстойник	1300000,00	9848,48
3	Карт-отстойник	1366273,72	10350,56
4	Карт-отстойник (2 ед.)	1156967,86	8764,91
5	Прочие основные средства	1860000,00	19300,00
Итого		5747789,12	62543,86

В предлагаемой методике использован сравнительный подход оценки себестоимости очистки удельной единицы стоков при традиционной системе и с применением электробаромембранного аппарата трубчатого типа, позволяющего получить характеристики барды, требуемые для дальнейшего ее применения в производстве кормового продукта в животноводстве, а также в виде питательной среды для удобрения почвы.

Для нахождения себестоимости очистки 1 т стоков необходимо определить режимный фонд времени работы оборудования по следующей формуле:

$$T_{\text{реж.об.}} = K_{\text{раб.нед.}} \times Ч_{\text{см.}} \times П_{\text{см.}}$$

где $K_{\text{раб.нед.}}$ – количество рабочих недель в году на предприятии; $Ч_{\text{см.}}$ – число смен в рабочую неделю; $П_{\text{см.}}$ – продолжительность смены. На предприятии рабочая неделя составляет 7 дней, всего смен в неделю 4, по 2 смены в сутки. Продолжительность смены – 8 часов. С учетом этих показателей, режимный фонд на заводе составляет:

$$52 \text{ недели в году} \times 4 \text{ смены} \times 8 \text{ ч} = 1664 \text{ ч.}$$

Среднее время простоя оборудования в ремонте на предприятии примерно составляет 1 % от эффективного фонда (по заводским данным).

$$T_{\text{рем.}} = 1664 \text{ ч} \times 1\% / 100\% = 16 \text{ ч.}$$

Эффективное время работы оборудования определено с учетом времени на проведение ремонта оборудования по формуле:

$$T_{\text{эф.}} = T_{\text{реж.}} - T_{\text{рем.}}$$

где $T_{\text{реж.}}$ – режимное время работы оборудования; $T_{\text{рем.}}$ – ремонтное время оборудования.

$$T_{\text{эф.}} = 1664 \text{ ч} - 16 \text{ ч} = 1648 \text{ ч.}$$

Базовая себестоимость очистки 1 м³ сточных вод, т. е. при существующей технологии на заводе, включает следующие статьи затрат: сырье и материалы; затраты на ГСМ и ремонт тракторов; зарплату основных производственных рабочих (включая отчисления на социальные нужды). Так, затраты на сырье и материа-

лы составляют по заводу примерно $6,51^*$ руб. на 1 декалитр спирта, на весь месячный объем выпуска продукции соответственно:

$$Z_{\text{сыр. и мат.}} = V_{\text{мес.}} \times P_{\text{сыр. и мат.}}/\text{ед. прод.},$$

где $Z_{\text{сыр. и мат.}}$ – расходы на сырье и материалы на весь объем стоков (месячный); $V_{\text{мес.}}$ – месячный объем технологических растворов на заводе; $P_{\text{сыр. и мат.}}/\text{ед. прод.}$ – расходы на сырье и материалы в расчете на единицу готовой продукции

$$6,51 \times 74000 = 481740 \text{ руб./мес.}$$

(* в стоимости материалов учтены транспортно-заготовительные расходы).

Затраты на очистку 1 т барды (удельные затраты) находим по формуле:

$$\text{Уд.}Z_i = Z_i : Q_{\text{ст.}},$$

где $\text{Уд.}Z_i$ – удельные затраты по соответствующей статье калькуляции себестоимости; Z_i – общие затраты (на месячный объем технологических вод) по соответствующей статье; $Q_{\text{ст.}}$ – месячный объем стоков в натуральном выражении.

Удельные затраты на сырье и материалы:

$$481740 \text{ руб.} : 8966 \text{ т раствора} = 53,72 \text{ руб./т.}$$

Затраты на ГСМ и ремонт тракторов (по заводским данным) за месяц составляют в совокупности 73334 руб., или в расчете на 1 т барды 8,17 руб./т.

Труд основных производственных рабочих оплачивается исходя из фактически отработанного времени с учетом размера премий, рассчитанного в соответствии с утвержденным на заводе Положением о премировании. На очистке сточных вод на предприятии занято 5 трактористов, 1 лаборант. Зарплата трактористов установлена в месяц в размере 18000 руб., лаборанта – 15000 руб. За месяц (или на месячный объем стоков) эти расходы равны:

$$5 \times 18000 + 1 \times 15000 = 105000 \text{ руб.}$$

Коэффициент премирования на заводе установлен на уровне 15 % от повременной ставки оплаты труда. Величина месячной премии персонала очистных сооружений составляет:

$$(5 \times 18000 + 1 \times 15000) \times 15 \% / 100 \% = 15750 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды определены в размере 0,302 от начисленной зарплаты и 3,1 % – это взносы на страхование от несчастных случаев на производстве (ОАО «Биохим» относится к предприятию 21 класса профессионального риска) [3].

За месяц расходы по этой статье составляют 39968,25 руб.

Себестоимость очистки всего объема технологических вод за месяц определяется суммированием всех вышеперечисленных статей затрат и составляет 778336,11 руб.

Удельные затраты на 1 т технологических вод равны:

$$778336,11 \text{ руб.} / 8966 \text{ т} = 86,81 \text{ руб./т.}$$

Результаты расчета сведены в табл. 2.

Совершенствование технологии переработки технологических растворов на заводе предусматривает монтаж мембранного оборудования, пуско-наладочные работы и ввод объекта в эксплуатацию, подготовку кадров, что суммарно оценивается в 3,65 млн руб. Производительность оборудования по мембранной очистке технологических растворов – 270–300 т/сутки.

В себестоимость очистки стоков на основе мембранной технологии включены затраты на реагенты, которые, по оценкам поставщика материалов, в среднем за месяц составляют 21870 руб.; затраты на энергоносители – 23846 руб.; расходы на оплату труда персонала, включая премии, страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве – 55103,4 руб.; расходы на обслуживание мембранного модуля (по данным поставщика оборудования) составляют 77000 руб. в год. За месяц затраты составят: 77000 руб. : 12 мес. = 6417 руб.; затраты на амортизацию мембранного оборудования (при сроке окупаемости, равным 3,5 года) в месяц составят 3650000 руб. / 3,5 года / 12 мес. = 86905 руб.

Поскольку в технологической схеме очистки завода остаются карт-отстойники, то в расчет себестоимости очистки 1 т технологического раствора включаются расходы на ГСМ и ремонт тракторов (8,17 руб./т, или 73334 руб. на месячный объем барды), расходы на оплату труда персонала очистных сооружений, включая отчисления на социальные нужды (11,71 + 1,75 + 4,06)/т, или 105000 + 15750 + 36466), амортизацию по карт-отстойникам (6,97 руб./т, или 62543,86 руб.).

Производственная себестоимость очистки технологического раствора в месяц составит:

Таблица 2

Расчет затрат на очистку сточных вод ОАО «Биохим» при существующей технологии

Наименование	Единица измерения	Затраты на 1 т, руб.	Затраты за весь объем технологического раствора в месяц, руб.
Сырье и материалы	руб.	53,72	481740,00
ГСМ и ремонт тракторов	руб.	8,17	73334,00
Основная зарплата персонала	руб.	11,71	105000,00
Дополнительная зарплата	руб.	1,75	15750,00
Отчисления на социальные нужды и взносы от несчастных случаев на производстве	руб.	4,06	36466,00
Амортизация	руб.	6,97	62543,86
Производственная себестоимость	руб.	86,81	778336,11

Таблица 3

Расчет затрат на очистку технологических растворов ОАО «Биохим» при мембранной технологии

Наименование	Единица измерения	Затраты на 1 т, руб.	Затраты за весь объем, руб.
Затраты на реагенты	руб.	2,44	21870,00
Затраты на ГСМ и ремонт тракторов	руб.		73334,00
Затраты на энергоносители	руб.	2,66	23846,00
Зарплата персонала, включая премии, страховые взносы и взносы на страхование от несчастных случаев на производстве	руб.	23,68	212319,00
Затраты на обслуживание мембранного модуля	руб.	0,72	6417,00
Амортизация	руб.	16,67	149448,86
Производственная себестоимость	руб.	54,34	487234,86

Таблица 4

Сравнительная оценка традиционной и мембранной технологий очистки технологического раствора на ОАО «Биохим»

Показатели	Единица измерения	Традиционная технология	Мембранная технология
1. Объем раствора (барды):			
за месяц	т	8966	8966
в сутки	т	298–300	298–300
2. Капитальные затраты	тыс. руб.	5747,79	3650,00
3. Эксплуатационные затраты:			
на месячный объем раствора (барды)	руб.	778336,11	487234,86
на 1 т барды	руб.	86,81	54,34
4. Эффект от очистки раствора:			
1 т раствора	руб.		32,47
за месяц	руб.		291101,25
за год	тыс. руб.		3493,2

$21870 + 73334 + 23846 + (55103 + 105000 + 15750 + 36466) + 6417 + (86905 + 62543,86) = 487234,86$ руб.

В расчете на 1 т технологических растворов себестоимость равна 54,34 руб./т. Расчет затрат на очистку технологических растворов ОАО «Биохим» при мембранной технологии представлен в табл. 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сравнительный анализ традиционной и мембранной технологий (табл. 4) очистки технологических вод на биохимическом производстве показывает, что последняя позволяет сократить себестоимость очистки 1 т технологического раствора с 86,41 руб./т до 54,34 руб./т, или примерно на 37 %.

Эффективность проекта мембранной технологии очистки стоков ОАО «Биохим» дополняется также такой составляющей, как сокращение потребности в водных ресурсах за счет возвращения в хозяйственный оборот очищенных сточных вод. В дальнейшем очищенная мембранным способом вода применяется в промывке оборудования.

Расчет экономического эффекта по этому направлению следующий. По данным производственного отдела ОАО «Биохим», годовой норматив предприятия на потребление воды в 2017 г. установлен 700322 м^3 . Стоимость 1 м^3 воды в 2016 г. составляла 18,08 руб. (без НДС). Расходы на потребление водных ресурсов в

технологическом процессе завода составили в 2016 г. в стоимостном выражении:

$700322 \text{ м}^3 \times 18,08 = 12661822$ руб., или 12662 тыс. руб.

Расход воды на промывку оборудования составляет в среднем по заводу 2 % от общей ее потребности. Значит, в хозяйственный оборот завода возвращается 14006 м^3 ($700322 \times 2\%/100\%$) водных ресурсов, что в денежном выражении составляет более 250 тыс. руб. в год ($14066 \times 18,08$).

При реализации данного проекта у предприятия нет необходимости пользоваться услугами сторонних организаций по утилизации отходов, которые составляют у ОАО «Биохим» в год суммарно 12800 руб. Эта сумма экономится и также увеличивает экономический эффект предлагаемой технологии очистки технологических растворов биохимического производства.

Таким образом, совершенствование технологии переработки мелассной барды на заводе позволяет обеспечить:

1) снижение себестоимости очистки и концентрирования жидкой фазы стоков спиртодрожжевых производств на 37 %;

2) сокращение затрат на водные ресурсы за счет вовлечения в хозяйственный оборот очищенных сточных вод и благодаря этому получение выгоды в виде экономии от снижения себестоимости продукции завода в размере 250 тыс. руб. в год;

3) экономический эффект в сумме 12800 руб. в год от ненадобности услуг сторонних организаций по утилизации отходов завода. Совокупная экономическая выгода ОАО «Биохим» должна составить 3756,0 тыс. руб.

Суммарный эффект дополняется общественными выгодами от улучшения экологии в регионе, где размещено биохимическое производство.

ВЫВОДЫ

1. В нынешних сложившихся условиях решение проблем устойчивости российской экономики напрямую будет определяться эффективностью развития сектора чистых технологий, связанных в т. ч. с утилизацией и вторичным использованием отходов. Развитие отходоперерабатывающих технологий на сегодняшний день невозможно без мембранных методов. Считаю, это и должно быть современным вариантом ответа на ситуацию с неэффективным использованием имеющихся ресурсов субъектами экономики, нехваткой

финансовых средств по причинам как внутреннего, так и внешнего характера.

2. Дальнейшее осуществление проекта потребует дополнительных вложений в высокотехнологичные универсальные установки, предназначенные для переработки различных видов растительного сырья, в т. ч. мелассы, с целью получения широкого спектра продукции: комбикорма, кормовых масс и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Платэ Н.А.* Мембранные технологии – авангардное направление XXI века // Критические технологии. Мембраны. 1999. № 1. С. 4-13.
2. *Лавренченко А.А., Лазарев С.И.* Исследование кинетических характеристик динамических мембран в процессе ультрафильтрационной очистки промышленных растворов биохимических производств // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2015. № 3. С. 28-33.
3. *Яровенко В.Л., Мариченко В.А., Смирнов В.А. и др.* Технология спирта. М.: Колос, 1999. 464 с.

Поступила в редакцию 12 июля 2017 г.

Лавренченко Анатолий Александрович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, ассистент кафедры эксплуатации автомобильного транспорта и автосервиса, e-mail: anatoliy_658@mail.ru

Лазарев Сергей Иванович, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной геометрии и компьютерной графики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Лазарев Дмитрий Сергеевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, магистрант, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Арзамасцев Александр Анатольевич, Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой математического моделирования и информационных технологий, e-mail: arz_sci@mail.ru

Протасов Дмитрий Николаевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат экономических наук, доцент кафедры высшей математики, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Богомолов Владимир Юрьевич, Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры природопользования и защиты окружающей среды, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Для цитирования: *Лавренченко А.А., Лазарев С.И., Лазарев Д.С., Арзамасцев А.А., Протасов Д.Н., Богомолов В.Ю.* Обоснование экологической эффективности электроультрафильтрационной очистки промышленных растворов биохимических производств // Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки. Тамбов, 2017. Т. 22. Вып. 5. С. 1148-1153. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1148-1153

For citation: *Lavrenchenko A.A., Lazarev S.I., Lazarev D.S., Arzamastsev A.A., Protasov D.N., Bogomolov V.Y.* Obosnovanie ekologicheskoy effektivnosti elektroul'trafil'tratsionnoy ochistki promyshlennykh rastvorov biokhimicheskikh proizvodstv [Foundation of ecological efficiency of electricultrafiltration clearing of commercial solutions of biochemical production]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series: Natural and Technical Sciences*, 2017, vol. 22, no. 5, pp. 1148-1153. DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1148-1153 (In Russian, Abstr. in Engl.).

UDC 66.081.63

DOI: 10.20310/1810-0198-2017-22-5-1148-1153

FOUNDATION OF ECOLOGICAL EFFICIENCY OF ELECTRICULTRAFILTRATION CLEARING OF COMMERCIAL SOLUTIONS OF BIOCHEMICAL PRODUCTION

© A.A. Lavrenchenko¹⁾, S.I. Lazarev¹⁾, D.S. Lazarev²⁾,
A.A. Arzamastsev²⁾, D.N. Protasov¹⁾, V.Y. Bogomolov¹⁾

¹⁾ Tambov State Technical University

106 Sovetskaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

²⁾ Tambov State University named after G.R. Derzhavin

33 Internatsionalnaya St., Tambov, Russian Federation, 392000

E-mail: arz_sci@mail.ru

The revolutionary capabilities of membrane processes in technological renovation of native industry are very relevant in the period of reorientation of Russian economy for import replacement, overcoming the consequences of economic sanctions and “cut off” of Russia from progressive Western technologies. As we know, membranes and membrane technologies are related to priority scientific directions in which Russian scientists advance the world level. The necessity to carry out experimental researches with the aim of improvement of technology of sewage treatment and methodic foundation of efficiency of such technology is proved. The work proposes the methods of estimation of ecological-economic efficiency of the process of utilization of commercial solution of biochemical production by electricultrafiltration clearing. The developed methods let estimate and calculate the efficiency of recycling of biochemical production in economic turnover. As information material the results of experimental researches in clearance of commercial solutions by electricultrafiltration clearing and also the data of the plant “Biokhim” according to parameters of economic evaluation of prime cost of production sewage treatment.

Keywords: technological solution; membrane technology; efficiency; infiltration and concentrate; electricmembrane apparatus

REFERENCES

1. Plate N.A. Membrannyye tekhnologii – avangardnoe napravlenie XXI veka [Membrane technology – the avant-garde trend of the 21st century]. *Kriticheskie tekhnologii. Membrany – Critical Technology. Membrane*, 1999, no. 1, pp. 4-13. (In Russian).
2. Lavrenchenko A.A., Lazarev S.I. Issledovanie kineticheskikh kharakteristik dinamicheskikh membran v protsesse ul'trafil'tratsionnoy ochistki promyshlennykh rastvorov biokhimicheskikh proizvodstv [The Study of Kinetic Characteristics of Dynamic Membranes during Ultrafiltration Treatment of Industrial Biochemical Production Solutions]. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo – Problems of Contemporary Science and Practice Vernadsky University*, 2015, no. 3, pp. 28-33. (In Russian).
3. Yarovenko V.L., Marinchenko V.A., Smirnov V.A. et al. *Tekhnologiya spirta* [Technology of Alcohol]. Moscow, Kolos Publ., 1999, 464 p. (In Russian).

Received 12 July 2017

Lavrenchenko Anatoliy Aleksandrovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Assistant of Motor Transport and Car Service Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Lazarev Sergey Ivanovich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Applied Geometry and Computer Graphics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Lazarev Dmitriy Sergeevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Master's Degree Student, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Arzamastsev Aleksander Anatolevich, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation, Doctor of Technics, Professor, Head of Mathematical Modeling and Information Technologies Department, e-mail: arz_sci@mail.ru

Protasov Dmitriy Nikolaevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Economics, Associate Professor of Higher Mathematics Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru

Bogomolov Vladimir Yurevich, Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation, Candidate of Technics, Senior Research Worker of Natural Resource Management and Environmental Protection Department, e-mail: geometry@mail.nnn.tstu.ru