

Экономическая целесообразность внедрения классификатора с соосно расположенными трубами на катализаторном заводе

В. Э. Зинуров¹, А. Р. Галимова²

Казанский государственный энергетический университет
Казань, Россия

¹vadd_93@mail.ru, ²galimovaar00@mail.ru

М. В. Никандрова

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева - КАИ
Казань, Россия

mvnikandrova@kai.ru

В. В. Харьков

Казанский национальный исследовательский технологический университет
Казань, Россия

v.v.kharkov@gmail.com

Аннотация. Современный этап развития экономики характеризуется актуальностью определения экономической целесообразности новых инженерных решений для их эффективного коммерческого внедрения на промышленные предприятия. Целью работы является технико-экономическая оценка внедрения разработанного оборудования- классификатора с соосно расположенными трубами на предприятии ООО «Салаватский катализаторный завод» (Башкортостан, г. Салават) взамен существующего оборудования для снижения финансовых затрат предприятия. В ходе проведения расчета производилось вычисление материальных, накладных, капитальных и прочих затрат. Для оценки экономической эффективности интеграции классификатора в технологическую линию предприятия производилось вычисление экономических показателей: чистый дисконтированный доход, индекс доходности (рентабельности) и дисконтированный срок окупаемости проекта. Был представлен цифровой двойник классификатора, на основе моделирования которого было определено, что при входной скорости газа от 3 до 17 м/с, затраты на электроэнергию в год составляют от 119,4 до 21025,7 руб. Индекс доходности проекта составил 4,71. Срок окупаемости классификатора составил 8 месяцев при стабильных ежемесячных финансовых потоках равных 70 000 руб. Чистый дисконтированный доход при ставке дисконтирования 16 % составил 355986,6 руб.

Ключевые слова: экономическая эффективность; затраты электроэнергии; цифровой двойник

I. ВВЕДЕНИЕ

Для успешной реализации мероприятий по внедрению новых аппаратов на химических, нефтехимических и других предприятиях важной задачей является рассмотрение экономических аспектов [1, 2]. В настоящий момент работа промышленного комплекса базируется не только на основных производственных показателях, таких как объем производства изготавливаемой продукции, потребительский спрос, расход материалов, сырья и др., но также необходимы рациональные методы в экономической сфере деятельности предприятия [3]. Рост конкурентоспособности в рыночном сегменте напрямую зависит от расчета экономических показателей с учетом метода дисконтирования на долгосрочную перспективу

эксплуатации установленного объекта. В данной работе применяется технико-экономический метод планирования, в котором учитываются себестоимость внедряемого объекта, расходы материально-технического обеспечения, затраты потребляемой электроэнергии и др. [4, 5]. Сущность технико-экономического расчета сводится к соизмерению основных затрат (инвестиционные издержки) процесса внедрения и прибыли предприятия. Поэтому, на сегодняшний день, особое внимание уделяется актуальной задаче- оценке экономической эффективности внедрения новых объектов на промышленном предприятии.

Сепарация частиц – один из наиболее распространенных промышленных процессов [6–8]. Целью данной работы является проведение оценочного расчета внедрения нового оборудования – классификатора с соосно расположенными трубами на предприятии ООО «Салаватский катализаторный завод».

II. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является промышленное предприятие ООО «Салаватский катализаторный завод». Предметом исследования является расчет экономической целесообразности внедрения классификатора с соосно расположенными трубами в существующую технологическую линию завода с минимальными экономическими затратами для дальнейшего получения максимальной прибыли за счет выпуска высококачественной продукции.

Классификатор представляет собой конструкцию вида «труба в трубе» (рис. 1). При внедрении классификатора с соосно расположенными трубами стояла задача разделения сыпучего материала на основе силикагеля с граничным размером равным 30 мкм. В частности, необходимо было уловить частицы размером до 30 мкм из газового потока, а частицы размером более 30 мкм должны были покидать устройство с газом через выходной патрубок аппарата. При этом объемная доля уловленного материала размером менее 30 мкм должна была составлять не более 2 % от общей доли уловленного материала. Разработка классификатора с соосно расположенными трубами велась на основе численного моделирования в Ansys Fluent.

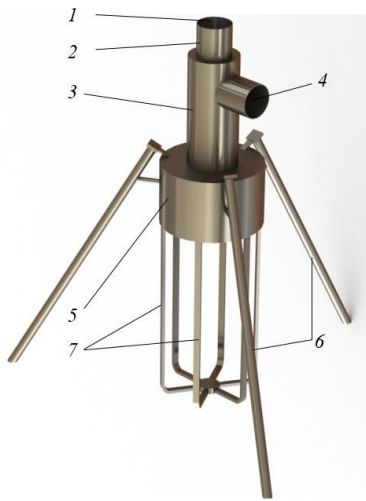


Рис. 1. Цифровой двойник классификатора с соосно расположенными трубами: 1 – входной патрубков, 2 – внутренняя цилиндрическая труба, 3 – внешняя цилиндрическая труба, 4 – выходной патрубков, 5 – цилиндрическая часть, 6 – опоры, 7 – металлическая конструкция для съемной емкости

Рассмотрим основные затраты, влияющие на расчет оценки экономической эффективности внедрения классификатора с соосно расположенными трубами на промышленном предприятии. В финансовой отрасли расчет инвестиционного бюджета процесса внедрения является важным этапом, так как оценка эффективности расходов средств в научно-исследовательской деятельности занимает особую роль в экономических отделах предприятий. В данном случае инвестиционный бюджет состоит из следующих инвестиционных издержек: материальные затраты на изготовление классификатора, накладные расходы и прочие затраты. Таким образом, совокупность затрат на реализацию проекта будет определяться по следующей формуле:

$$K = K_{\text{мат}} + K_{\text{н}} + K_{\text{пр}} \quad (1)$$

где $K_{\text{мат}}$ – материальные затраты, руб.; $K_{\text{н}}$ – накладные расходы, руб.; $K_{\text{пр}}$ – прочие расходы, руб.

Формирование амортизационного фонда в виде материальных средств, которые предназначены для ремонта и замены изношенных и поврежденных элементов сепарационных устройств. Расчет амортизационных отчислений осуществлялся линейным методом. В данном расчете примем, что амортизационные отчисления будут происходить ежегодно. Тогда, сумма амортизации $A_{\text{год}}$

$$A_{\text{год}} = C_{\text{н}} H_{\text{а}} / 100 \quad (2)$$

где $C_{\text{н}}$ – первоначальная стоимость устройства, руб.; $H_{\text{а}}$ – норма амортизации, %:

$$H_{\text{а}} = 100 / N \quad (3)$$

где N – срок полезного использования устройства, год.

К накладным расходам при внедрении и использования нового оборудования в технологической линии предприятия относятся затраты на монтажные работы, поддерживающий ремонт, установку и

обслуживание классификатора, оборудование бытовых помещений и рабочих мест, затраты вследствие простоя, брака и т.п. В данной работе не производилось сравнение с аналогами, так как на момент внедрения классификатора с соосно расположенными трубами в технологическую линию предприятия, аппаратов, позволяющих выполнить поставленное техническое задание без дополнительных промышленных экспериментов не было, а для их проведения необходимо было вносить значимые изменения в планировку помещений, так как предлагались тестировать массивные аппараты, требующие значительные производственные площади. В расчете инвестиционных затрат не учитываются расходы на заработную плату сотрудникам завода, т.к. для эксплуатации и необходимого монтажа внедренного классификатора не требуется иных специализированных работников.

При расчете общей годовой суммы электроэнергии предлагаемого оборудования в технологической линии предприятия ООО «Салаватский катализаторный завод» был принят предельно допустимый график технического обслуживания и работы (8760 часов/год). Затраты на электроэнергию классификатора Z_3

$$Z_3 = N \tau K \quad (4)$$

где N – потребляемая мощность оборудования для прокачки запыленного газового потока через классификатор, кВт; τ – время работа классификатора, ч, $\tau = 8760$ ч.; K – стоимость 1 кВт/ч электроэнергии для предприятия, руб./(кВт/ч).

Мощность вентилятора N определялась по формуле:

$$N = \Delta p Q / \eta \quad (5)$$

где Δp – потери давления в классификаторе, Па; Q – объемный расход газа, м³/с; η – коэффициент полезного действия вентилятора (КПД).

Оценка экономической эффективности интеграции классификатора в технологическую линию предприятия производилась на основе следующих экономических показателей: чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV – Net Present Value), индекс доходности (рентабельности) и дисконтированный срок окупаемости проекта.

ЧДД характеризует эффективность вложенных инвестиций в проект, т.е. показывает разность между приведенным результатом и приведенными затратами. Так как через определенные промежутки времени ценность денежных средств изменяется, вследствие инфляции и иных факторов, поэтому для осуществления достоверного расчета необходимо за начало отсчета реализации проекта выбрать текущий момент времени и все последующие финансовые поступления привести к текущему периоду. Для этого производится расчет коэффициента дисконтирования Kd :

$$Kd = 1 / (1 + r)^t \quad (6)$$

где r – ставка дисконтирования; t – промежуток времени, для которого определяется коэффициент дисконтирования, год.

Величина расчетной ставки дисконтирования позволяет оценить доходность будущих инвестиций. Как правило, в российских промышленных инвестиционных проектах ставка дисконтирования определяется от 10 до 40%.

Показатель ликвидности предприятия анализируется на основе расчетов отдельных коэффициентов ликвидности: коэффициент абсолютной ликвидности, коэффициент текущей ликвидности и коэффициент промежуточной ликвидности [9].

Коэффициент абсолютной ликвидности определяет платежеспособность предприятия, а именно отношение суммы денежных средств и краткосрочных финансовых вложений к краткосрочным обязательствам. Коэффициент абсолютной ликвидности AR определяется по формуле:

$$AR = (C + MS) / CL \quad (7)$$

где C – денежные средства, тыс. руб.; MS – краткосрочные финансовые вложения предприятия, тыс. руб.; CL – краткосрочные обязательства, тыс. руб.

Также для выявления наиболее быстро реализуемых активов предприятия рассчитывается коэффициент текущей ликвидности CR по следующей формуле:

$$CR = CA / CL \quad (8)$$

где CA – оборотные активы предприятия, тыс. руб.; CL – краткосрочные обязательства, тыс. руб.

Помимо коэффициентов абсолютной и текущей ликвидности, важным является учет коэффициента промежуточной ликвидности QR , он рассчитывается с использованием текущих активов – денежных средств:

$$QR = (C + MS + AR) / CL \quad (9)$$

где AR – дебиторская задолженность, тыс. руб.; MS – краткосрочные финансовые вложения предприятия, тыс. руб.

Для приведения стоимости ожидаемых денежных платежей к текущему моменту времени производят дисконтирование денежных потоков, которое вычисляется по следующему выражению:

$$DCF = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

где CF_t – финансовые потоки в год, руб.

ЧДД (NPV) находится по формуле:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - |IC| \quad (11)$$

где IC – первоначальные затраты (инвестиции), т. е. планируемые вложения в реализацию проекта, руб.

Индекс доходности PI с учетом фактора времени вычисляется по формуле (4), характеризующий эффективность инвестиций

$$PI = (NPV + |IC|) / |IC| \quad (12)$$

Дисконтированный срок окупаемости DPP проекта по интеграции классификатора в технологическую линию предприятия

$$DPP = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \geq IC \quad (13)$$

III. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Материальные затраты на изготовление одного классификатора с соосно расположенными трубами составили 53600 руб. Стоимость отдельных элементов классификатора с соосно расположенными трубами представлена в табл. 1. Следует отметить, что большая часть монтажных работ может осуществляться внутренними работниками предприятия, что не требует дополнительных финансовых затрат на оплату труда иным квалифицированным специалистам.

ТАБЛИЦА I Стоимость отдельных элементов классификатора и технологических операций

Элементы устройства	Кол-во, шт	Цена, руб./шт	Сумма, руб.
Внешняя цилиндрическая труба 159×5 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	5 000	5 000
Внутренняя цилиндрическая труба 108×4 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	4 000	4 000
Труба для цилиндрической части аппарата 325×8 мм стальная ГОСТ 8732-78	1	13 000	13 000
Лист металлический круглой формы для металлической конструкции 6 мм	1	1 500	1 500
Элементы для металлической конструкции	6	600	3 600
Опоры для классификатора	3	3 000	9 000
Съемная емкость	1	4 500	4 500
Металлическая шайба для межтрубного пространства	1	1 000	1 000
Технологическая операция	Стоимость, руб		
Резка металла	3 000		
Сварка	10 000		
Всего	53 600		

Общее формирование амортизационного фонда представлено в табл. 2.

ТАБЛИЦА II Начисление годовой амортизации линейным способом

Срок полезного использования, год	Остаточная стоимость на начало года, руб.	Норма амортизации, %	Сумма годовых амортизационных отчислений, руб.	Балансовая стоимость, руб.
1	53 600	10	5 360	48 240
2	48 240	10	5 360	42 880
3	42 880	10	5 360	37 520
4	37 520	10	5 360	32 160
5	32 160	10	5 360	26 800
6	26 800	10	5 360	21 440
7	21 440	10	5 360	16 080
8	16 080	10	5 360	10 720
9	10 720	10	5 360	5 360
10	5 360	10	5 360	0

Учитывая, конструктивные особенности классификатора (простоту конструкции, отсутствие

подвижных механических элементов и др.) примем за срок полезного использования $N = 10$ лет. Следует отметить, что срок реального полезного использования, в первую очередь, будет зависеть от требуемой производительности аппарата и концентрации сыпучего материала на основе силикагеля в газовом потоке, так как при контакте абразивных частиц с внутренними стенками классификатора происходит их истирание, т.е. постепенное разрушение. Тогда, по формулам (2–3), норма амортизации и ежегодная сумма амортизации будет составлять 10 % и 5360 руб., соответственно.

В промышленной отрасли планирование накладных расходов особенно важно. Нормирование расходов в промышленной сфере регламентируется методическими указаниями по определению величины накладных расходов в строительстве, утверждаемых Постановлением Госстроя России. В соответствии с документом определяется коэффициент, который нужно применить для определения накладных расходов с учетом области применения оборудования. Накладные расходы принимаются как 60 % от материальных затрат и составляют 32160 руб.

Прочие расходы, как правило, составляют около 10 - 20 % от материальных затрат проекта. К ним относят расходы, которые не вошли в ранее составленную смету. Зачастую большая часть прочих расходов относится к незапланированным затратам. Примем, что прочие расходы будут составлять 10000 руб.

Итоговая сумма затрат на реализацию мероприятия по внедрению нового оборудования по формуле (1) будет составлять 95760 руб.

Расчет затрат на электроэнергию выполнен на основе результатов экспериментальных по формулам (4) и (5) (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3 РАСЧЕТ ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Входная скорость газового потока W , м/с	Потери давления в классификаторе Δp , Па	Мощность вентилятора N , кВт	Тарифная цена за 1 кВт/ч, руб./кВт/ч	Сумма затрат на электроэнергию, руб. в год
3	91,7	0,003895	3,5	119,4175
4	156,64	0,008871	3,5	271,982
5	260,1	0,018781	3,5	575,8216
6	352,27	0,029925	3,5	917,4964
7	510,82	0,050626	3,5	1552,185
8	624,43	0,070726	3,5	2168,459
9	800,79	0,102039	3,5	3128,518
10	976,44	0,138245	3,5	4238,606
11	1190,86	0,185464	3,5	5686,314
12	1487,28	0,252685	3,5	7747,319
13	1746,85	0,321517	3,5	9857,719
14	1996,1	0,395654	3,5	12130,75
15	2312,5	0,491109	3,5	15057,42
16	2651	0,60053	3,5	18412,26
17	2849,21	0,68577	3,5	21025,72

Следует отметить, что выборка данных параметра – потери давления Δp в аппарате была получена с помощью моделирования цифрового двойника классификатора. В частности, производилось моделирование газодинамики в классификаторе. В ходе расчетов варьировалась входная скорость газа от 3 до 17 м/с. Определение потери давления в аппарате с помощью цифрового двойника обусловлено отсутствием возможности проводить исследования на натурной модели, используемой в

технологической линии на промышленном предприятии. Ранее, в работе [10] было показано более подробно, как осуществляется численное моделирование классификатора. Как правило КПД η вентилятора составляет от 0,6 до 0,8. Примем $\eta = 0,6$.

Как видно, по приведенным параметрам при использовании одного классификатора затраты на электроэнергию в год составляют не более 21025,72 руб. при нагнетании скорости газового потока до 17 м/с. Следует отметить, что на промышленном предприятии при использовании классификатора с соосно расположенными трубами скорость движения газа является не фиксированной величиной с течением времени, поэтому в расчетах будем принимать среднюю скорость газового потока равную 10 м/с. Таким образом, затраты на электроэнергию в год составляют около 4238,606 руб.

Внедрение классификатора с соосно расположенными трубами позволило предприятию получать прибыль от выполнения технического задания. Вследствие того, что данная информация является конфиденциальной, примем, что финансовые потоки составляли около 25 000 руб. в год от применения 1 ед. классификатора.

При оценке экономической эффективности интеграции классификатора в технологическую линию предприятия был проведен анализ финансового положения ООО «Салаватский катализаторный завод, так как от него зависит ставка дисконтирования r в уравнении (6). На рис. 2 прослеживается тенденция роста общей выручки предприятия с 2014 по 2019 гг. и схожая динамика изменения чистой прибыли и показателя EBIT за весь отчетный период.

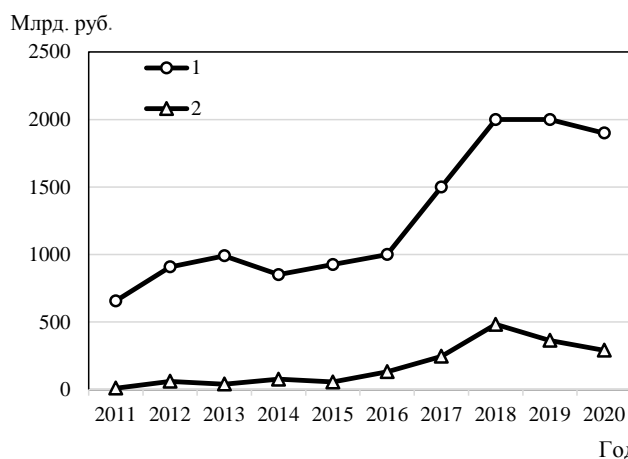


Рис. 2. График изменения финансовых результатов организации ООО «Салаватский катализаторный завод» за последние годы по основным показателям: выручка, чистая прибыль, EBIT. (Данные ООО «Салаватский катализаторный завод», Бухгалтерская отчетность за 2011–2020 гг.): 1 – выручка; 2 – чистая прибыль

На основе бухгалтерской отчетности ООО «Салаватский катализаторный завод» были выполнены расчеты коэффициентов ликвидности по представленным формулам (7–9), результаты, которые представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА IV Анализ соотношения активов по степени ликвидности и обязательств по сроку погашения за 2018-2020 гг.

Показатель	Значение показателя			Изменение	Норматив
	2018	2019	2020		
Коэффициент абсолютной ликвидности	0,04	0,11	0,137	0,097	0,2-0,5
Коэффициент текущей ликвидности	1,22	0,67	0,439	-0,781	0,8-1,0
Коэффициент промежуточной ликвидности	1,73	1,35	0,786	-0,944	2,0-2,5

Анализ коэффициентов ликвидности за период 2018-2020 гг. показал, что коэффициент абсолютной ликвидности имеет тенденцию к росту. Его показатель по сравнению увеличился с 0,04 до 0,137 на 2020 год. В целом, предприятие является платежеспособным, так как объем краткосрочных финансовых вложений позволяет покрыть краткосрочные обязательства предприятия. Данный аспект обосновывает финансовую возможность осуществления плана внедрения оборудования в технологическую линию предприятия. Однако, коэффициенты текущей и промежуточной ликвидности снизились и не достигли нормативного значения. Коэффициенты ликвидности позволили сравнить стоимость текущих активов, которые имеют разную степень ликвидности, с суммой текущих обязательств. В соответствии с бухгалтерской отчетностью, перечисленные коэффициенты ликвидности отличаются от установленных норм и имеют тенденцию к снижению своих показателей вследствие уменьшения общей чистой прибыли предприятия за последние года. В связи с этим, рентабельность собственного капитала предприятия также снизилась в 1,3 раза по сравнению с предыдущим годом и на 2020 год составила 31 %. В соответствии приведенными данными прием в расчетах ставку дисконтирования равной 16 %, т.е. $r = 0,16$.

Проведя расчет основных экономических показателей по формулам (6-10), дисконтирование денежных потоков DCF при ставке дисконтирования 16% смогли определить приближенные значения сумм финансовых потоков на протяжении 10 лет. Финансовые потоки, а именно планируемые будущие доходы предприятия, являются стабильными на протяжении всего полезного срока эксплуатации классификатора с соосно расположенными трубами без учета временного фактора.

Чистый дисконтированный доход остался в пределах положительных значений и составил 355986,6 руб., что характеризует обоснованность первоначальных вложений с учетом запланированного уровня доходности проекта на предприятии. Индекс доходности является субъективным и не учитывает влияние внешних факторов рыночных отношений, которые могут повлиять на изменение потенциально ожидаемые потоки и финансовое состояние предприятия. В нашем случае, индекс доходности с учетом фактора времени составил 4,71. Срок окупаемости инвестиционного проекта DPP составил примерно 8 месяцев с учетом изменения стоимости денег со временем, то есть в указанный период чистые доходы предприятия сравнятся с размером первоначальных инвестиций.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализация мероприятия по внедрению по внедрению разработанного классификатора с соосно расположенными трубами на действующее предприятие является экономически эффективным и рентабельным. В итоге, можно сделать следующие выводы:

- Итоговая сумма затрат на реализацию мероприятия составила $K = 95\ 760$ руб.
- Представлен цифровой двойник классификатора с соосно расположенными трубами. Его моделирование показало, что при значении граничного условия - входной скорости газа от 3 до 17 м/с, затраты на электроэнергию в год составляют от 119,4 до 21025,7 руб.
- Анализ коэффициентов ликвидности за период 2018–2020 гг. показал, что коэффициент абсолютной ликвидности имеет тенденцию к росту, а коэффициенты текущей и промежуточной ликвидности отличаются от установленных норм и снижаются вследствие уменьшения общей чистой прибыли предприятия за последние года.
- Чистый дисконтированный доход при ставке дисконтирования 16 % составил 355986,6 руб.
- Индекс доходности проекта составил 4,71.
- Срок окупаемости классификатора составляет примерно 8 месяцев при стабильных ежемесячных финансовых потоков, равным 70 000 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Palo E., Iaquaniello G., Mosca L. Calculate the production costs of your own process // *Catalysis, Green Chemistry and Sustainable Energy* / ed. Basile A. et al. Elsevier, 2020. Vol. 179. P. 141–157.
- [2] Singh S., Bakshi B.R. Chemical Engineering and Biogeochemical Cycles // *Sustainability in the Design, Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes* / ed. Ruiz-Mercado G., Cabezas Synthesis and Analysis of Chemical Engineering Processes H.B.T.-S. in the D. Oxford: Elsevier, 2016. P. 275–294.
- [3] Cook M. Economic indicators from the DCF // *Petroleum Economics and Risk Analysis* / ed. Cook M.B.T.-D. in P.S. Elsevier, 2021. Vol. 71. P. 207–229.
- [4] Dimian A.C., Bildea C.S., Kiss A.A. Economic Evaluation of Projects // *Integrated Design and Simulation of Chemical Processes* / ed. Dimian A.C., Bildea C.S., Kiss A.A.B.T.-C.A.C.E. Elsevier, 2014. Vol. 35. P. 717–755.
- [5] Brennan D. Evaluation of project profitability // *Process Industry Economics* / ed. Brennan D.B.T.-P.I.E. (Second E. Elsevier, 2020. P. 127–156.
- [6] Classification of Solid Particles From Liquids and Gases // *Coulson and Richardson's Chemical Engineering*. Elsevier, 2019. P. 133–203.
- [7] Zinurov V., Dmitriev A., Kharkov V. Design of High-Efficiency Device for Gas Cleaning from Fine Solid Particles // *Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2020). ICIE 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering* / ed. Radionov A.A., Gasiyarov V.R. Cham: Springer International Publishing, 2021. P. 378–385.
- [8] Zinurov V., Dmitriev A., Kharkov V. Influence of process parameters on capturing efficiency of rectangular separator // *2020 International Conference on Information Technology and Nanotechnology (ITNT). IEEE, 2020. P. 1–4.*
- [9] Dyckman T.R., Easton P.D., Pfeiffer G.M. *Financial Accounting*. Cambridge Business Publishers, 2007.
- [10] Zinurov V.E. et al. Classification of bulk material from the gas flow in a device with coaxially arranged pipes // *E3S Web Conf.* / ed. Bratan S. 2020. Vol. 193. P. 01056.