



КАЧЕСТВО и ЖИЗНЬ

Важнейшим конкурентным преимуществом являются знания, технологии, компетенции. Это ключ к настоящему прорыву, к повышению качества жизни!



СОДЕРЖАНИЕ

Учредители:
Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации,
Межрегиональная общественная организация
«Академия проблем качества»

КАЧЕСТВО И ЖИЗНЬ

Научно-производственный
культурно-образовательный журнал

2024 № 4(44)

Свидетельство о регистрации в Роскомнадзоре
ПИ № 77-16571 от 13.10.2003
ISSN 2312-5209
Подписной индекс Пресса России – 43453

Редакционный совет:

Г.И. Элькин (*председатель*), д.э.н.; А.П. Шалаев;
В.Н. Азаров, д.т.н., проф.; В.Н. Бас, д.э.н.;
В.Ф. Безъязычный, д.т.н., проф.;
В.Я. Белобрагин, д.э.н., проф.;
А.Б. Бельский, д.т.н., проф.;
Б.В. Бойцов, д.т.н., проф.;
И.Н. Бокарев, д.мед.н., проф.;
В.А. Васильев, д.т.н., проф.;
С.А. Васин, д.т.н., проф.; В.Г. Версан, д.э.н., проф.;
Г.П. Воронин, д.э.н., проф.;
А.В. Евсеев, д.т.н., доцент;
С.Г. Емельянов, д.т.н., проф.;
Ю.В. Илюхин, д.т.н., проф.;
Л.К. Исаев, д.т.н., проф.;
И.А. Коровкин, к.э.н.;
Ю.В. Крынев, д.филос.н., проф.;
В.И. Кулайкин, к.п.н.;
В.В. Окрепилов, д.э.н., проф., акад. РАН;
М.А. Погосян, д.т.н., проф., акад. РАН;
М.Л. Рахманов, д.т.н., проф.;
А.К. Скворцовский, д.т.н., проф.;
Н.Б. Топоров, д.т.н., проф.;
П.Б. Шелищ, к.филос.н.;
Б.А. Якимович, д.т.н., проф.

Редакционная коллегия:

Б.В. Бойцов (главный редактор), д.т.н., проф.,
засл. деятель науки РФ;
К.В. Леонидов; М.Ю. Куприков, д.т.н., проф.;
Г.Н. Иванова, к.э.н., доцент;
И.А. Сосунова, д.социол.н., проф.;
Ю.И. Денискин, д.т.н., проф.;
М.М. Копкина (отв. секретарь),

Издатель – Межрегиональная общественная
организация «Академия проблем качества
им. В.В. Бойцова»
117393, Москва, ул. Профсоюзная, д. 78, стр. 1
Тел./факс: (499) 236-1536, e-mail: apq_p@mail.ru
www.academquality.ru,
www.академия-качества.рф

Ответственный за выпуск: М.М. Копкина
Редактор и корректор: Е.В. Масибута
Дизайн и компьютерная верстка: Ж.И. Егорова

Работа с авторами и подписчиками:

Н.С. Боцманова,
В.Ю. Ивашкова
Тел./факс: (499) 236-3584, e-mail: ql-mail@mail.ru

Подписано в печать 29.12.2024
Бумага мелованная. Заказ № 2502
Формат 60×90/8
Гарнитура YanusC, Minion Pro
Печать офсетная

Тираж 300 экз.
Отпечатано в типографии
ООО «Полиформат», г. Москва

Мнение авторов статей может не совпадать с мнением редакции. Перепечатка материалов, а также полное или частичное воспроизведение их в электронном виде возможны только с письменного разрешения издателя. Ссылка на журнал обязательна.

РОБОТЫ, МЕХАТРОНИКА РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

- Денисов В.Н., Игнатенкова А.И.
Исследование влияния вибрационного воздействия
на производительность экструдера..... 7
- Поезжаева Е.В., Ябуров М.И., Реутов В.А., Русских Е.Р.
Решение в замкнутой форме обратной задачи кинематики
для манипуляционных роботов с избыточностью 11

ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

- Алексенцева С.Е.
Разработка и качество конструкционного исполнения, установки
и монтажа взрывозащитной перфорированной преграды..... 16

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, КОНСТРУКЦИЯ И ПРОИЗВОДСТВО ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А., Лойко К.Н.
Исследование методов применения композиционных материалов
при изготовлении деталей конструкций вертолетов 20
- Бойцов Б.В., Ресинец А.И., Ресинец А.А.
Анализ применения композитных материалов в авиастроении 29

ТРЕНИЕ И ИЗНОС В МАШИНАХ

- Копейкин Р.Р., Дмитрачков Д.К., Калинин С.А., Абдуллин Р.Ф.,
Сибин А.Н., Байкин А.Н., Головин С.В., Левенцов В.А., Хасанов М.М.
Методика управления системой поддержания пластового давления
с учетом трещин автоматического гидравлического разрыва пласта 34

СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Лончих П.А., Исупов А.А., Мальцева Е.Н.
Мотивация и цели внедрения отечественных цифровых технологий
и стандартов качества на предприятиях нефтегазовой отрасли 44
- Чуева Е.В., Захватова А.Л., Муродова Н.Б.
Вспомогательные инструменты региональной инфраструктуры
оценки качества. Опыт ФБУ «Красноярский ЦСМ» 50

МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Антипенко В.С., Бабич Н.С., Галкин К.В., Харитонов Ю.Н.
Качество стохастических моделей управления запасами на предприятиях
машиностроения с учетом времени задержки 54

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

- Короткова Г.В., Нагапетян А.А.
Расчет необходимого количества инфракрасных ламп перед
процессом выпечки 59
- Денисов В.Н., Игнатенкова А.И.
Оценка вибрационного воздействия на органолептические и физико-
химические показатели кукурузных трубочек при экструдировании..... 62
- Сидорук Т.И., Короткова Г.В.
Усовершенствование процесса пастеризации молока с разработкой
конструкции разделителя потока..... 66

ЭКОЛОГИЯ

- Алпатов В.В., Крестников И.Ф., Сосунова И.А.
Современные возможные угрозы качеству экосферы земли 68

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

- Голуб И.А., Черемухина Ю.Ю.
Апробация и исследование методики управления процессом
подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием
инструментов цифровизации..... 80



С Новым Годом и Рождеством!

Дорогие коллеги, друзья!

С Новым 2025 годом! Пусть он будет полон мудрости и ловкости, как у настоящей Змеи. Желаю вам змеиного терпения в делах и искусного маневрирования в жизни. Желаю вам умения ловко и красиво обходить преграды и смело идти к своим целям. Пусть этот год станет для вас временем трансформаций: от старых привычек к новым мечтам, от простоты к ярким свершениям!

Действительный член
МОО «Академия проблем качества
им. В.В. Бойцова»,
член отделения Подъемно-транспортных,
строительных, дорожных, горных машин
и спецавтотранспортных средств
Е.П. Плавельский



Итоговая конференция МОО «Академия проблем качества им. В.В. Бойцова» под председательством Президента Академии Г.И. Элькина



**Москва, 13 декабря 2024 г. –
Состоялась итоговая конференция**

Подведены итоги 2024 года и намечены планы работы Академии на 2025 год, отмечено развитие научно-производственного и культурно-образовательного журнала «Качество и жизнь», а также награждены призеры Всероссийского Конкурса Программы «100 лучших товаров России».



В конференции приняли участие члены Президиума Академии, заместитель руководителя Росстандарта Е.Р. Лазаренко, представители региональных, отраслевых и проблемных отделений Академии, а также призеры Конкурса «100 лучших товаров России».

МОО «Академия проблем качества им. В.В. Бойцова», в рамках которой прошла Торжественная церемония награждения призеров Всероссийского Конкурса Программы «100 лучших товаров России».

Более чем 25-летний опыт реализации Конкурса «100 лучших товаров России» показывает, что данная акция на деле содействует участникам совершенствовать свою деятельность. Они более четко и эффективно выстраивают стратегические планы развития, нацеливают их на решение актуальных государственных задач качества. Именно поэтому многие предприятия и организации участвуют в конкурсах неоднократно, стремятся не только к высокому статусу победителя, но и, главное, к постоянному качественному росту и развитию.

Во многих субъектах Российской Федерации региональный этап Всероссийского конкурса приобретает статус акции выявле-





ния лучших товаров республики, края и области, что повышает значимость проводимых конкурсных мероприятий, поднимает авторитет региона за его пределами.

Исключительно важную роль в обеспечении эффективности конкурса играет непосредственное участие в его проведении Росстандарта путём подключения к работе его региональных центров стандартизации и метрологии.

Именно на этом стыке организаторами конкурса положено начало раз-



витию прогрессивного вида сотрудничества в формате общественно-государственного партнёрства по решению стоящих задач в области качества.

В Конкурсе «100 лучших товаров России» в 2024 году приняли участие 9 округов, 61 регион, 1371 предприятие и 2031 товар, из которых 687 стали лауреатами.

Выражаем огромную благодарность Дирекции Конкурса, ЦСМ Росстандарта, секретарям региональных комиссий по качеству.





Исследование влияния вибрационного воздействия на производительность экструдера

В.Н. Денисов

*д-р техн. наук, профессор кафедры
«Технологические машины и оборудование»
Смоленского филиала Московского
энергетического института*

А.И. Игнатенкова

*магистрант кафедры «Технологические
машины и оборудование» Смоленского
филиала Московского энергетического
института*

Аннотация. Актуальным для современного пищевого производства является увеличение объемов выпускаемой продукции и повышение качества готового продукта. Существует ряд методов достижения актуальности путем повышения технологических характеристик оборудования. В статье исследуется влияние вибрационного воздействия на повышение производительности экструдера при производстве кукурузных трубочек методом экструзии. Осуществляется оценка влияния внешнего воздействия на рабочие узлы экструдера. В завершение делаются выводы о влиянии вибрационного воздействия на производительность оборудования.

Ключевые слова: экструдер, технологические характеристики, производительность, возбудитель принудительной вибрации, регулятор оборотов, эксцентрик, кукурузная трубочка.

Summary. The increase in the volume of manufactured products and the improvement of the quality of the finished product are relevant for modern food production. There are a number of methods for achieving relevance by improving the technological characteristics of the equipment. The article examines the effect of vibration on increasing the productivity of the extruder in the production of corn tubes by extrusion. The effect of external influence on the working units of the extruder is assessed. In

conclusion, conclusions are made about the effect of vibration on the productivity of the equipment.

Keywords: extruder, technological characteristics, productivity, forced vibration exciter, speed controller, eccentric, corn tube.

Введение

В последние десятилетия технологии экструзии находят все большее применение в различных отраслях промышленности – от производства упаковочных материалов до создания сложных композитных материалов. Экструдеры являются одними из ключевых машин в этой области, и их конструкция напрямую влияет на их производительность и качество конечной продукции. Вопрос повышения производительности экструдеров требует непрерывного поиска новых подходов и технологий. Одним из подходов является применение вибрационных технологий, которые могут оказывать положительное влияние на процессы экструзии. Вибрационное воздействие может способствовать более равномерному распределению компонентов сырья, улучшению его смешиваемости и снижению остаточных напряжений в материале в процессе экструзии. В свою очередь это может привести к улучшению термических и механических свойств конечного продукта. Тем не менее эффективность таких методов зависит от множества факторов, включая частоту и амплитуду вибрации, а также геометрию устройства.

Несмотря на различные исследования, посвященные влиянию внешних механических воздействий на экструзию [1–3], недостаточно опытных данных о том, как именно вибрация влияет на производительность экструдеров. Существует необходимость провести систематическое исследование, которое позволит выявить ключевые аспекты взаимодействия вибрационного воздействия и технологических параметров. В данной работе ставится цель изучить влияние вибрационного воздействия на производительность экструдеров и определить оптимальные параметры вибрации для повышения эффективности экструзии с целью улучшения технологических процессов и повышения конкурентоспособности продукции.

Материалы и методы

Объектом нашего исследования является экструдер, используемый в производственных процессах, который подвергается вибрационному воздействию различных частот и амплитуд. Определен рабочий диапазон частот, в котором оценивается влияние вибрации на механические свойства продукта и оборудования в процессе экструзии. Проведено изучение влияния вибрации на итоговые характеристики как продукта, так и оборудования. Подобрана амплитуда вибрации, чтобы избежать повреждений оборудования и обеспечить безопасные условия работы. Разработан экспериментальный комплекс, способный производить контролируемое вибрационное воздействие.

На основе собранных данных проведен сравнительный анализ производительности экструдера в различных условиях и определены оптимальные параметры для повышения эффективности экструзии.

Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка, используемая для исследования влияния вибрационного воздействия на производительность экструдера, была разработана на базе экструдера и вибратора. Основа установки – экструдер «Электромаш», способный работать с различными видами растительного сырья: кукуруза, пшеница, овес, горох и др. Частота вращения шнека составляла 735 об/мин. Модернизация данного оборудования осуществлялась с помощью примитивного возбудителя вибрации в виде стационарной болгарки Black Decker. Для обеспечения вибрационного воздействия на корпусе экструдера, в зоне формирующей головки, перпендикулярно оси вращения шнека, крепилась болгарка с помощью металлической пластины, которая фиксировалась на месте снятой ручки. Чтобы исключить нагрев пластины, между ней и корпусом дополнительно устанавливалась деревянная прокладка. Применялся вибровозбудитель с регулируемой частотой вибрационного воздействия (рис. 1). Вибровозбудитель подсоединялся к регулятору частоты вращения эксцентрика. Роль регулятора частоты вращения играл ЛАТР, подключенный к питающей сети переменного тока.

Принципиальная схема создания примитивного возбудителя вибрации заключалась в следующем. На место рабочего органа болгарки был установлен эксцентрик (вместо отрезного диска или шлифовального круга). Для этого на шпиндель (1) был установлен внутренний фланец (2), после которого устанавливался эксцентрик (3). Фиксация эксцентрика на шпинделе была произведена внешним фланцем (4). Принципиальная схема установки эксцентрика представлена на рис. 2.

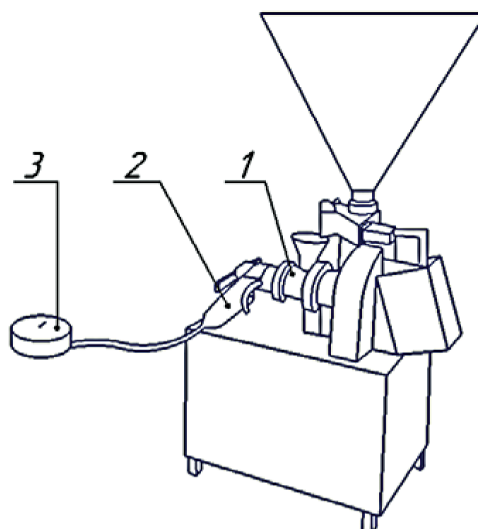


Рисунок 1. Сборная установка экструдера и возбудителя вибрации:

1 – экструдер; 2 – возбудитель вибрации;
3 – регулятор оборотов

Данная установка позволяет исследовать не только влияние вибрации на скорость выхода продукта и его органолептические свойства, но и на оборудование в целом.

Результаты и обсуждение

Для проведения эксперимента в качестве сырья для экструзии использовалось кукурузное зерно, размер фракции которого составил 8–10 мм. С помощью влагомера Farmpoint определена влажность сырья $\varphi=12,5\%$, что попадает в интервал допустимых значений. При проведении эксперимента выбран шаг частоты вращения эксцентрика – 900 об/мин. Через каждые 5 сек. повышалась частота оборотов вибратора с помощью регулятора в диапазоне от 0 до 5400 об/мин., что составило 7 участков. Данные, полученные в ходе эксперимента и на основе вычислений, сведены в таблицу.

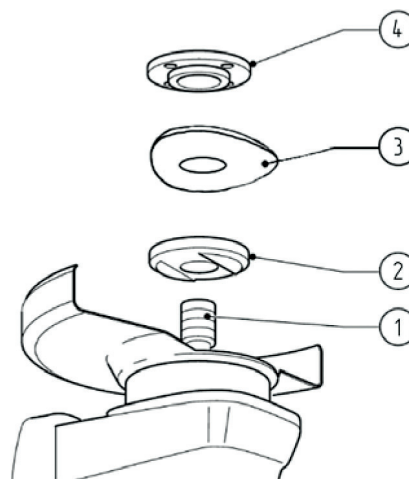


Рисунок 2. Принципиальная схема установки эксцентрика



Данные зависимости скорости выхода продукта от частоты вращения эксцентрика

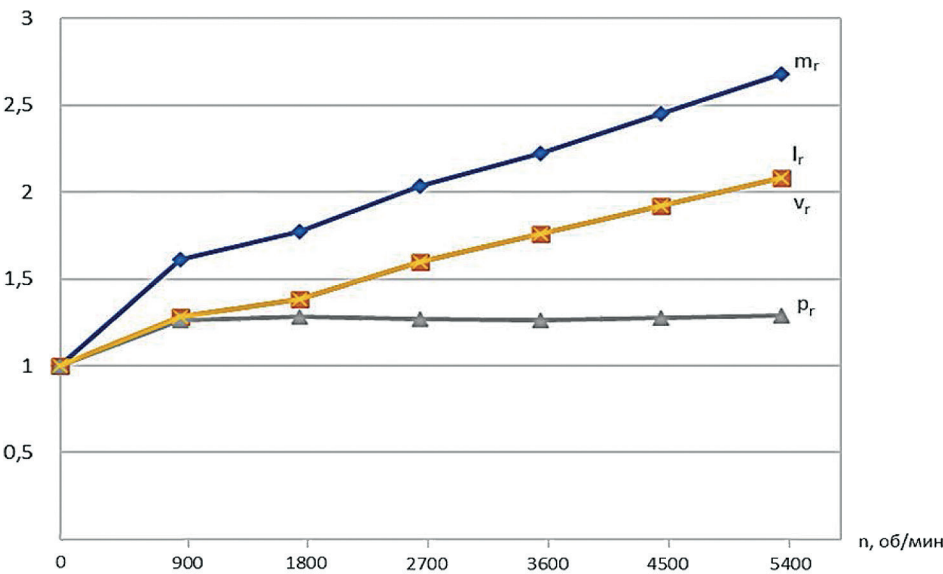
№ п/п	Частота вращения эксцентрика n, об/мин	Масса продукта m, г	Длина продукта L, мм	Скорость выхода продукта v, мм/с
1	0	31	125	25
2	900	50	160	32
3	1800	55	173	34,6
4	2700	63	200	40
5	3600	69	220	44
6	4500	76	240	48
7	5400	83	260	52

В результате вычисления относительных величин путем деления данных, полученных с применением вибрационного воздействия, на числовые значения, полученные без вибрации, рассчитаны относительные и безразмерные величины продуктов экструдирования: масса, длина, скорость, плотность. Полученные данные отображены в виде графика на рис. 3.

Из графика видно, что с увеличением числа оборотов эксцентрика линейно увеличивается масса, длина и скорость выхода продукта, начиная с некоторой частоты вибрации. Относительная плотность почти не меняется после прохождения этой частоты. Следовательно, повышение вибрационного воздействия за счет увеличения частоты сверх некоторой частоты, характерной для опре-

деленного типа сырья, не является эффективным способом повлиять на структуру готового изделия.

Помимо этого анализ производительности экструдера в различных режимах вибрации позволил выявить тенденции и основные закономерности, присущие этому процессу. При сравнении производительности при отсутствии вибрации и различных режимах вибрационного воздействия было отмечено, что экструзия материала без вибрации чаще всего приводит к более низкому качеству продукции и нестабильному выходу. В условиях же применения вибрации, даже с минимальными амплитудами, наблюдалось снижение сопротивления потоку сырья, что в конечном итоге повышало эффективность экструзии. Так, например, при применении вибрации при n = 900 об/мин. наблюдалось



	образец 1	образец 2	образец 3	образец 4	образец 5	образец 6	образец 7
—♦— относительная масса, m_r	1	1,613	1,774	2,032	2,226	2,452	2,677
—■— относительная длина, l_r	1	1,28	1,384	1,6	1,76	1,92	2,08
—▲— относительная плотность, p_r	1	1,26	1,282	1,27	1,265	1,277	1,287
—x— относительная скорость, v_r	1	1,28	1,384	1,6	1,76	1,92	2,08

Рисунок 3. Принципиальная схема установки эксцентрика

увеличение производительности на 25%, в то время как вибрация при $n = 1800$ об/мин. приводила к еще большему увеличению, достигая 40%. Это также подтверждает вывод о том, что оптимизация режимов вибрации становится ключевым фактором для успешной реализации экструзионных процессов. Более того, результаты показали, что выставление правильных параметров вибрации положительно сказывается на снижении числа дефектов готовой продукции, таких как пористость или неравномерная структура.

Во время опыта было зафиксировано, что при росте значения частоты вращения эксцентрика увеличивалось воздействие не только на формующую головку, но и на все оборудование. Также при увеличении вибрационного воздействия на установку увеличивался уровень шума. При значении $n = 5400$ об/мин. звук от возбудителя вибрации был максимальный. Важно отметить, что баланс между частотой и амплитудой повышает не только производительность, но и долговечность самого экструдера, уменьшая механические нагрузки и затраты на техническое обслуживание.

На основании проведенного исследования можно сформулировать рекомендации по оптимизации работы экструдера в условиях вибрационного воздействия:

- во-первых, необходимо осуществлять регулярный мониторинг параметров вибрации, таких как частота и амплитуда, для нахождения оптимальных значений, позволяющих максимизировать производительность. Рекомендуется экспериментально определять границы допустимых значений вибрации, чтобы избежать негативных последствий во время работы экструдера;
- во-вторых, следует внедрять системы автоматической настройки и контроля вибрации, что обеспечит более высокую точность и стабильность процесса экструзии. Также важно учитывать параметры обрабатываемых материалов, так как они могут значительно влиять на восприятие вибрационных нагрузок;
- в-третьих, необходимо проводить обучение сотрудников по вопросам правильной настройки и эксплуатации вибрационных установок, поскольку человеческий фактор также может существенно влиять на результаты работы.

Во всех исследованиях нужен комплексный подход к оптимизации условий экструзии, включающий не только вибрационное воздействие, но и другие факторы, такие как температура, давление и влажность. Подводя итог, можно полагать, что при правильном управлении параметрами вибрации экструдеры могут работать с максимальной эффек-

тивностью, что подтвердили результаты многофакторного анализа и экспериментальных испытаний.

Заключение

В ходе проведенного исследования было установлено, что вибрационное воздействие значительно влияет на производительность экструдера. Одним из основных механизмов, через которые вибрация сказывается на производительности, по-видимому, является изменение динамических свойств материала, подаваемого в экструдер, а также процесса его пластификации и смешивания. В результате введения вибрационных колебаний в систему наблюдается улучшение однородности распределения компонентов в смеси, что в свою очередь приводит к более стабильному качеству конечного продукта. Оптимизация параметров вибрации способствует уменьшению трения в зоне формующей головки и шнека, что снижает нагрузку на приводные механизмы и увеличивает общую производительность установки. Однако слишком интенсивное вибрационное воздействие может оказать противоположный эффект, приводя к расслоению компонентов, ухудшению качества экструзии и увеличению износа механических частей оборудования. Поэтому требуется тонкая настройка режимов вибрации для нахождения золотой середины, которая обеспечивает максимальную производительность без ущерба для качества продукта.

Источники

1. Васильев П.Н. Исследование экструзии полимеров с учетом вибрации // Технологии переработки пластмасс. 2019. № 3. С. 45–52.
2. Орлов А.В. Анализ вибрационного воздействия на продуктивность производственных машин // Машиностроение. 2023. № 1. С. 11–17.
3. Сидоров И.Г. Влияние вибрационных режимов на свойства экструдата // Полимерная наука. 2021. Т. 12. С. 50–56.

References

1. Vasiliev P.N. Study of polymer extrusion taking into account vibration // Plastics processing technologies. 2019. No. 3. Pp. 45–52.
2. Orlov A.V. Analysis of vibration impact on the productivity of production machines // Mechanical engineering. 2023. No. 1. Pp. 11–17.
3. Sidorov I.G. Influence of vibration modes on the properties of the extrudate // Polymer science. 2021. Vol. 12. Pp. 50–56.



Решение в замкнутой форме обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов с избыточностью

Е.В. Поезжаева

канд. техн. наук, профессор, ФГАОУ
ВО «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет»
e-mail: tmm010203@yandex.ru

М.И. Ябуров

студент, ФГАОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»

В.А. Реутов

студент, ФГАОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»
инженер, ПТО ООО «Дефшов»

Е.Р. Русских

студентка, ФГАОУ ВО «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»

Аннотация. В статье рассматривается решение обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов с избыточностью в замкнутой форме. Обратная задача кинематики заключается в определении углов суставов робота, необходимых для достижения заданного положения и ориентации. В случае манипуляторов с избыточными степенями свободы данная задача становится сложнее, так как существует множество решений. В исследовании предлагается метод, который основан на ведении множителей Лагранжа, что обеспечивает более высокую вычислительную эффективность по сравнению с подходом, использующим псевдообратную матрицу Якоби. Основное внимание уделяется разработке алгоритма, точности решения и обеспечению оптимизации конфигурации робота для выполнения заданных задач.

Ключевые слова: избыточный манипулятор, неизбыточный манипулятор, манипулятор, степень подвижности, сингулярные состояния, формирование движений, псевдообратная матрица Якоби, множители Лагранжа, обратное кинематическое преобразование.

Summary. The article considers the solution of the inverse kinematics problem for manipulative robots with redundancy in a closed form. The inverse problem of kinematics is to determine the angles of the robot joints necessary to achieve a given position and orientation. In the case of manipulators with excessive degrees of freedom, this task becomes more difficult, since there are many solutions. The study proposes a method based on maintaining Lagrange multipliers, which provides higher computational efficiency compared to the approach using the pseudo-inverse Jacobi matrix. The main focus is on the development of the algorithm, the accuracy of the solution and ensuring the optimization of the robot configuration to perform specified tasks.

Keywords: redundant manipulator, non-redundant manipulator, manipulator, degree of mobility, singular states, formation of movements, pseudo-inverse Jacobi matrix, Lagrange multipliers, inverse kinematic transformation.

Современные манипуляционные роботы находят применение в различных областях, включая промышленное производство (см. рисунок), медицину, космическую отрасль и бытовую технику [1]. Ключевым аспектом успешного выполнения их задач является способность точно определять и управлять положением и ориентацией рабочего органа робота. Для этого необходимо решить обратную задачу кинематики (ОЗК), которая заключается в определении конфигурации робота по заданному положению его конечного звена [2]. Особый интерес представляют манипуляторы с избыточной степенью свободы, число которых превышает минимально необходимое для выпол-



Робот-манипулятор

нения заданий в рабочем пространстве [3]. Такие роботы обладают повышенной гибкостью, позволяя обходить препятствия, распределять нагрузки и адаптироваться к изменяющимся условиям [4]. Например, роботы с избыточностью применяются для сборки в ограниченных пространствах, где требуется высокая маневренность, или в медицинских манипуляциях, где точность и гибкость критически важны [5].

Однако избыточность усложняет решение ОЗК, так как множество возможных конфигураций требует выбора оптимальной [6]. Традиционные подходы к решению обратной задачи кинематики включают численные методы, такие как итеративные алгоритмы на основе обратной матрицы Якоби, и аналитические методы, использующие алгебраические преобразования. Однако численные методы часто требуют значительных вычислительных ресурсов, подвержены локальным минимумам и могут быть недостаточно быстрыми для работы в реальном времени [7]. Актуальной задачей становится разработка методов, позволяющих получать решения в замкнутой форме. Такой подход не только повышает вычислительную эффективность, но и упрощает реализацию ограничений, связанных с движением и конфигурацией робота. При избыточности ($n > 6$) число решений становится бесконечным. Чтобы выбрать конкретное решение, вводятся дополнительные критерии или оптимизационные задачи, которые помогают определить «лучший» вариант конфигурации. Методы включают псевдообратную матрицу, оптимизацию целевой функции или использование приоритетов. В данной статье рассматривается метод решения

ОЗК для манипуляционных роботов с избыточностью в замкнутой форме. Представленный подход учитывает геометрические и кинематические ограничения, обеспечивает стабильность решений и обладает высокой скоростью вычислений, что делает его пригодным для использования в реальном времени.

Кинематику избыточного манипулятора можно описать [8]:

$$x = f(\vec{\theta}), \quad (1)$$

где θ – n -мерный вектор обобщенных координат, характеризующих положение в степенях подвижности; f – векторная функция, включающая m скалярных функций, $m < n$, $x - m$ – мерный вектор, представляющий расположение рабочего органа в рабочем пространстве.

Уравнение (1) можно переписать в виде:

$$F(\vec{\theta}) = f(\vec{\theta}) - x. \quad (2)$$

$$= 0$$

Пусть $H(\vec{\theta})$ – некоторая целевая функция, характеризующая желаемое качество, например исключение сингулярности или обход препятствий.

Вводится функция Лагранжа $L(\vec{\theta})$ вида

$$L(\vec{\theta}) = \vec{\lambda}^T F(\vec{\theta}) + H(\vec{\theta}), \quad (3)$$

где $\vec{\lambda} - m$ – мерный вектор множителей Лагранжа. В стационарных точках L выполняется условие:

$$\frac{\partial L}{\partial \vec{\theta}} = \vec{\lambda}^T \frac{\partial F}{\partial \vec{\theta}} + \frac{\partial H}{\partial \vec{\theta}} = 0, \quad (4)$$

где $m \times n$ матрица $\partial F / \partial \vec{\theta}$ является матрицей Якоби манипуляторной системы.

Второй член в правой части (4) – транспонированный вектор градиента.

$$h = (h_1, h_2, \dots, h_n)^T$$

$$h_i = \frac{\partial H}{\partial \theta_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

Тогда (4) можно записать в виде:

$$\vec{\lambda}^T J = -h^T.$$

Транспонируя обе части уравнения, можно получить:

$$J^T \vec{\lambda} = -h$$

или

$$\begin{bmatrix} (J^1)^T \\ (J^2)^T \\ \vdots \\ (J^n)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix}. \quad (6)$$



В выражении (6) представлено n линейных уравнений с m неизвестными $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$. Выбирая m линейно независимых уравнений из (6), можно получить:

$$\begin{bmatrix} (J^1)^T \\ (J^2)^T \\ \vdots \\ (J^m)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

(без потери общности взяты первые m уравнений).

Отсюда:

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_m \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} (J^1)^T \\ (J^2)^T \\ \vdots \\ (J^m)^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{bmatrix}.$$

Подставляя эти значения в оставшиеся $n-m$ уравнений в (6), можно получить:

$$- \begin{bmatrix} (J^{m+1})^T \\ (J^{m+2})^T \\ \vdots \\ (J^n)^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (J^1)^T \\ (J^2)^T \\ \vdots \\ (J^m)^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{m+1} \\ h_{m+2} \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix} \quad (8)$$

Для краткости записи вводятся обозначения

$$J_m = \begin{bmatrix} (J^1)^T \\ (J^2)^T \\ \vdots \\ (J^m)^T \end{bmatrix} \quad J_{n-m} = \begin{bmatrix} (J^{m+1})^T \\ (J^{m+2})^T \\ \vdots \\ (J^n)^T \end{bmatrix},$$

$$h_m = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_m \end{bmatrix} \quad h_{n-m} = \begin{bmatrix} h_{m+1} \\ h_{m+2} \\ \vdots \\ h_n \end{bmatrix}.$$

Добавляя к (8) h_{n-m} и умножая обе части на -1 , можно получить:

$$J_{n-m} J_m^{-1} h_m - h_{n-m} = 0$$

или

$$\begin{bmatrix} J_{n-m} J_m^{-1} : -I_{n-m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_m \\ h_{n-m} \end{bmatrix} = 0,$$

где I_{n-m} – единичная матрица ранга $n-m$. Если обозначить

$$Z = \begin{bmatrix} J_{n-m} J_m^{-1} : -I_{n-m} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

то уравнение (8) принимает вид:

$$Zh = 0. \quad (10)$$

Объединяя (1 и 10), можно получить систему уравнений:

$$\begin{cases} x = f(\bar{\theta}) \\ Zh = 0 \end{cases} \quad (11)$$

Поскольку Z – матрица размера $(n-m) \times n$, а h – n -мерный вектор, уравнение (10) включает скалярных уравнений с n неизвестными значениями.

Уравнение (1) представляет собой систему из m скалярных уравнений. Следовательно, система уравнений (11) включает n независимых линейных уравнений с n неизвестными, которые могут быть решены численными методами. В уравнении (10) матрица Z определяется кинематическими характеристиками манипулятора, а вектор h задается дополнительными целевыми требованиями. Целевая функция H может быть выбрана произвольно, при условии, что она зависит только от обобщенных координат. Например, для реализации обхода препятствий целевая функция может быть представлена в специфической форме, описывающей геометрические ограничения рабочей среды [3].

$$H = k_o \sum_{i=1}^l 1 / \{C_o(x_i) - 1\} + k_j \sum_{j=1}^n 1 / \{\theta_{j\max}^2 - \theta_j^2\} \quad (12)$$

где k_o и k_j – масштабные множители; $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3})^T$ – положение i -той точки из l рассматриваемых точек на манипуляторе; $\theta_{j\max}$ – максимальное перемещение в i -той степени подвижности.

В качестве примера рассмотрено использование предложенной процедуры применительно к плоскому манипулятору с тремя степенями подвижности, показанному на рисунке. В качестве задания ставилась задача отследить концом рабочего органа замкнутую территорию в форме квадрата с исключением сингулярных положений. В качестве целевой функции использован показатель «манипулируемости» [6]:

$$H = \det(JJ^T) \quad (13)$$

Уравнения кинематики имеют вид:

$$\begin{aligned} x &= l_1 s_1 + l_2 s_{12} + l_3 s_{12}, \\ y &= l_1 c_1 + l_2 c_{12} + l_3 c_{12}, \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$s_i = \sin(\theta_i), \quad s_{ij\dots k} = \sin(\theta_i + \theta_j + \dots + \theta_k)$$

$$c_i = \cos(\theta_i), \quad c_{ij\dots k} = \cos(\theta_i + \theta_j + \dots + \theta_k),$$

$i, j, \dots, k = 1, 2, 3$.

Матрица Якоби определяется выражением:

$$J = \begin{pmatrix} v c_{123} + u c_{12} + c_1 & v c_{123} + u c_{12} & v c_{123} \\ -v s_{123} - u s_{12} - s_1 & v s_{123} - u s_{12} & -v s_{123} \end{pmatrix}, \quad (15)$$

$$\text{где} \\ u = \frac{l_2}{l_1} \quad v = \frac{l_3}{l_1}$$

После преобразования уравнение (13) приводится к виду

$$H = 2s_3^2 u^2 v^2 + 2s_{23}^2 s_3 u v^2 + 2s_{23}^2 v^2 + 2s_2 s_{23} u v + s_2^2 u^2.$$

Вычисляя частные производные, можно найти градиент $h = (h_1, h_2, h_3)^T$,

$$\text{где} \\ h_1 = 0$$

$$h_2 = 2(c_{23} s_3 u + s_{2233}) v^2 + 2s_{223} u v + s_{22} u^2$$

$$h_3 = 2(s_{33} u^2 + s_{233} u + s_{2233}) v^2 + 2c_{23} s_2 u v$$

Выражение (9) для рассматриваемого манипулятора принимает вид:

$$Z = [s_3 u v \quad -s_3 u v - s_{23} v \quad s_{23} v + s_2 u].$$

Тогда уравнению (10) соответствует:

$$2u^2 v^3 (s_3 s_3 - c_{23} s_3^2) + u v^3 (2s_{23} s_{233} - 3s_{2233} s_3) + 2u^3 v^3 s_2 s_{33} + u^2 v^2 (c_{33} - c_{22}) + 2u v^2 (s_2 s_{2233} - c_2 s_{23}^2) - u^3 v s_{22} s_3 - 2u^2 v s_2 s_3 = 0,$$

где использованы те же обозначения, что и в (20).

Проведенные эксперименты показали, что предлагаемый метод обеспечивает более высокую точность решения, чем метод [1], основанный на использовании псевдообратной матрицы Якоби для предварительного определения угловых скоростей. В отличие от метода [1] наш подход демонстрирует стабильность и повторяемость движений манипулятора, позволяя получать идентичные угловые координаты для фиксированного положения рабочего органа. Точность предложенного метода проверялась путем прямого кинематического преобразования найденных угловых координат, результаты чего подтвердили его эффективность. Уравнения (14) и (15) задают систему, предназначенную для максимизации критерия (13). Кроме того, предлагаемый подход требует всего 136 арифметических операций для выполнения одного цикла вычислений, тогда как метод [1] расходует 239 операций на каждом шаге итеративного процесса. В данной статье представлен новый подход к решению обратной задачи кинематики для манипуляционных роботов с избыточностью, который демонстрирует высокую эффективность и точность по сравнению с традиционными методами. Разработанный метод позволяет существенно снизить

вычислительную нагрузку благодаря уменьшению количества арифметических операций, что делает его подходящим для реализации в системах управления роботов в реальном времени.

Результаты показали, что предлагаемый метод обеспечивает стабильность и повторяемость движений манипулятора, особенно в задачах, связанных с точным соблюдением заданного контура и обходом препятствий. В отличие от существующих решений наш метод гарантирует согласованность угловых координат и рабочего положения, что является важным фактором для практических приложений. Будущие исследования могут быть направлены на расширение возможностей предложенного метода, включая его адаптацию для роботов с более сложной кинематикой или работу в условиях динамических нагрузок. Ожидается, что внедрение данного подхода позволит улучшить производительность и надежность современных манипуляционных систем, открывая новые горизонты для их применения в промышленности и других областях.

Источники

1. Дема Н.Ю., Овчаров А.О. Исследование методов решения обратной задачи кинематики для манипуляторов избыточной кинематики // Альманах научных работ молодых ученых университета ИТМО: XLVII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 30 января 2018 г. Т. 1. СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», 2018. С. 211–213. EDN SRMVFN.
2. Колюбин С.А., Заводовский О.Д. Энергоэффективное траекторное управление манипуляторами с избыточным числом степеней свободы // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2018. Т. 61. № 2. С. 141–147. DOI 10.17586/0021-3454-2018-61-2-141-147. EDN OOSKMX.
3. Коровин О.С. Обзор методов решения обратной задачи кинематики для манипулятора с избыточностью // Политехнический молодежный журнал. 2022. № 12(77). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-12-846>
4. Бошляков А.А., Новак А.В. Об ограничениях решения обратной задачи кинематики манипулятора с избыточными степенями подвижности с обходом препятствий // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 13(109). С. 27–31. DOI: 10.18411/trnio-05-2024-653. EDN GQU DRM.



5. Коротков А.Л., Саитов И.И., Тапеха Н.О. и др. Манипуляционные системы мобильных роботов для работы в стесненных пространствах // Экстремальная робототехника. 2022. № 1(33). С. 11–17. EDN LIPFBQ.

5. Капустина О.М. Анализ сингулярных конфигураций мобильного манипулятора KUKA youBot // Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ. 2019. № 1. С. 93–97. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-1-93-97. EDN VTXTLH.

6. Юсупов Р.Х., Дементей В.П., Юсупов В.Р. Система управления универсального роботизированного базового транспортного модуля // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2012. № 2(53). С. 36–41. EDN RBFFLP.

7. Поезжаева Е.В., Закиров Е.А., Малев М.В. Кинематика избыточного манипулятора робота для тушения пожаров // Молодой ученый. 2015. № 23(103). С. 204–206.

References

1. Dema, N. Yu. Investigation of methods for solving the inverse problem of kinematics for manipulators of excess kinematics / N. Yu. Dema, A. O. Ovcharov // Almanac of Scientific Works of Young Scientists of ITMO University: XLVII Scientific and Methodological Conference of ITMO University, St. Petersburg, January 30 – 02, 2018. Volume 1. – St. Petersburg: Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "National Research University ITMO", 2018. – P. 211–213. – EDN SRMVFN.
2. Kolyubin, S. A. Energy-efficient trajectory control of manipulators with an excessive number of degrees of freedom / S. A. Kolyubin, O. D. Zavodovsky // Bulletin of Higher Educational Institutions. Instrumentation Engineering. – 2018. – V. 61, No 2. – P. 141–147. – DOI 10.17586/0021-3454-2018-61-2-141-147. – EDN OOSKMX.
3. Korovin O.S. Review of methods for solving the inverse problem of kinematics for a manipulator with redundancy. Polytechnic Youth Journal, 2022, No 12(77). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2022-12-846>
4. Boshlyakov, A. A. On the limitations of solving the inverse problem of the kinematics of a manipulator with excessive degrees of mobility with obstacle avoidance / A. A. Boshlyakov, A. V. Novak // Trends in the development of science and education. – 2024. – № 109-13. – P. 27–31. – DOI 10.18411/trnio-05-2024-653. – EDN GQUDRM.
5. Manipulation systems of mobile robots for work in constrained spaces / A. L. Korotkov, I. I. Saitov, N. O. Tapekha [et al] // Extreme Robotics. – 2022. – № 1(33). – P. 11–17. – EDN LIPFBQ.
5. Kapustina, O. M. Analysis of singular configurations of KUKA youBot mobile manipulator / O.M. Kapustina // Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute. MPEI Bulletin. – 2019. – No. 1. – P. 93–97. – DOI 10.24160/1993-6982-2019-1-93-97. – EDN VTXTLH.
6. Yusupov, R. Kh. Control system of the universal robotic basic transport module / R. Kh. Yusupov, V. P. Dementei, V. R. Yusupov // Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin". – 2012. – № 2(53). – P. 36–41. – EDN RBFFLP.
7. Poezhaeva E. V., E. A. Kinematics of the excessive robot manipulator for fire extinguishing / E. V. Poezhaeva, E. A. Zakirov, M. V. Malyov. — Text: direct // Young Scientist. — 2015. — № 23 (103). — P. 204–206.

Разработка и качество конструкционного исполнения, установки и монтажа взрывозащитной перфорированной преграды

С.Е. Алексенцева

*профессор Самарского государственного
технического университета (СамГТУ);
г. Самара*

Аннотация. Исследованы характеристики конструктивно-функциональной пригодности взрывозащитной перфорированной преграды. Даны предложения по формированию требований и контролю качества конструкционного исполнения сварных конструкций перфорированных преград. Спроектирована технологическая взрывозащитная перфорированная кабина, изготовленная из полос стального проката, показаны характеристики прочности. Особое внимание уделено изучению механизма ослабления воздушной ударной волны перфорированными панелями. Рассмотрены аспекты характеристик осколочного действия, возникающего при внешнем воздействии осколочных боеприпасов. Рассчитаны коэффициенты перфорации двуслойных преград и параметры взрывных нагрузок за пределами перфорированной кабины. Даны предложения по требованиям к качеству установки и монтажа перфорированной конструкции.

Ключевые слова: ударная воздушная волна, взрывозащитная перфорированная преграда, контроль качества, технологическая кабина, осколочное действие.

Summary. The article studies the characteristics of the design and functional suitability of an explosion-proof perforated barrier. Proposals are given for the formation of requirements and quality control of the design of welded structures of perforated barriers. A technological explosion-proof perforated cabin made of rolled steel strips is designed, the strength characteristics are shown. Particular attention is paid to the study of the mechanism of attenuation of an air shock wave by perforated panels. Aspects of the characteristics of the fragmentation action

arising from the external impact of fragmentation ammunition are considered. Perforation coefficients of two-layer barriers and parameters of explosive loads outside the perforated cabin are calculated. Proposals are given for the requirements for the quality of installation and assembly of the perforated structure.

Keywords: air shock wave, explosion-proof perforated barrier, quality control, technological cabin, fragmentation action.

Функциональная пригодность сооружений при защите от воздействия взрывных процессов обеспечивается различными классами сплошных взрывостойких монолитных конструкций. Так, класс технологических взрывозащитных сооружений – бронекabiны с локализацией действия взрыва для проведения технологических процессов, связанных с изготовлением изделий из энергонасыщенных материалов (ЭНМ). Данные сооружения наиболее отработаны конструктивно, их изготовление подчиняется требованиям ГОСТ Р 56297-2014 «Кabiны железобетонные защитные для взрывоопасных производств. Технические требования и оценка прочности» [1]. Взрывозащитные сооружения в гражданском секторе представляют собой монолитные взрывостойкие защитные конструкции банковских хранилищ, двери хранилищ, сейфы и другие, обеспечивающие в том числе защиту документов и денежных средств и иных значимых ценностей. Одним из важнейших направлений, которые требуют применения защитных сооружений, это проведение взрывных работ на объектах вне специально оборудованных предприятий, полигонов и площадок. Проведение взрывных технологий на объектах строительных производств, линиях трубопроводов и энергопотоков в наземных, подземных и водных условиях. Актуальна необходимость защиты от взрыва заряда ЭНМ, представляющего особую опасность для работающего персонала, а также повреждающее действие для производственных зданий, технических сооружений, механизмов и оборудования.



Опасные факторы при воздействии ударной волны

Основными опасными факторами являются воздействие ударной волны (УВ), осколочное действие разрушенных элементов защитных сооружений и осколочное поле оболочек взрывных устройств.

Взрыв характеризуется чрезвычайно быстрым физическим и химическим изменением ЭНМ, которое сопровождается мгновенным преобразованием потенциальной энергии УВ в работу сжатия, дробления, пробития и разрушения. При взрыве производится работа по расширению газов, продуктов детонации с резким повышением давления в среде, что является причиной разрушительных процессов. Истечение продуктов детонации в среде формирует ударную волну, характеризующуюся начальными параметрами детонационной волны. Фронт волны имеет повышенное давление Δp , плотность ρ , температуру T и распространяется со сверхзвуковой скоростью D .

Разрушительное действие при взаимодействии с защитными преградами производится осколочным полем, сформированным осколочным действием оболочек снарядов. Наиболее близкие к естественному дроблению представляют собой статистические модели осколочных спектров в виде вейбулловского распределения [2, 3], основанного на гипотезе пуассоновского распределения окружных трещин на оболочке снаряда. Гипервейбулловское распределение имеет место при описании осколочных спектров с двумя выраженными модами плотности. Например, для ОФС калибра 152 мм с корпусом, изготовленным горячей штамповкой из снарядной стали С-60, снаряженные тринитротолуолом ТНТ методом шнекования [4]. Основная масса осколков численностью 13 036 штук представляет группы 0,5–1 и 1–2 г. Второй пик численности – 268 штук массой 10–15 г. Минимальное число осколков массой около ста и более грамм.

Для боеприпасов с насечками формируются осколки заданных параметров по размеру и массе (хотя для гранат насечки сделаны для удобства метания), образуется осколочное поле в соответствии с распространением детонационной волны от разрывного заряда боеприпаса. Например, осколочная граната Ф-1 имеет 270–300 крупных осколков со скоростью разлета 700–730 м/с [5].

Перфорированные взрывозащитные преграды

Наряду с классом сплошных взрывозащитных преград для эффективного ослабления давления УВ используются перфорированные взрывозащитные сооружения. Характер затухания УВ рассматри-

вается как прохождение плоского фронта волны через перфорированные перегородки [6]. Силовой импульс воздействия такой волны обеспечивается избыточным давлением во фронте Δp и импульсом фазы сжатия. Импульс избыточного давления УВ представляет собой действие избыточного давления во времени τ на единицу контактируемой площади $I = \Delta p_{\text{ср}} \tau$ [7].

В работе [8] проведены исследования для перфорированных преград с разной периодичностью, углом разворота воздушного потока, с периодическим сжатием и дифракционным расширением воздушного потока при прохождении через преграду. Степень ослабления ударной волны перфорированной преградой зависит не только от коэффициента перфорации общей площади и интенсивности падающей УВ производящей работу, но и от структуры и материала перфорированной преграды [8]. Таким образом, применение перфорированных преград является эффективным подходом при решении задач по ослаблению параметров давления нестационарных ударных волн.

Перфорированные взрывозащитные преграды ИЦ «Самара» СамГТУ

Перфорированные преграды, разработанные в ИЦ «Самара», выполнены из стального проката стали Ст.3 с периодичностью, обеспечивающей проемы в преграде в виде щелей, обеспечивающих параметр перфорации [9, 10] (см. рисунок).

Коэффициент перфорации подобной перфорированной панели рассчитывается по ГОСТ Р 70400.3-2023 «Кабины перфорированные защитные для взрывоопасных производств. Технические требования и оценка прочности» [11].

Коэффициент перфорации взрывозащитной перфорированной преграды ϕ определяется как отношение суммы расстояний между металлическими полосами $\sum d_i$ к длине перфорированной преграды l [11]. Для преграды, выполненной из полос, коэффициент перфорации равен 0,09. Для многослойной перфорированной преграды обратная величина коэффициента перфорации определяется



Перфорированная преграда из полос стального проката

как сумма обратных величин коэффициентов перфорации для однослойной преграды.

Для обеспечения противоосколочного действия преграда выполнена двуслойной, где в качестве второй панели также применена перфорированная панель, обе панели разнесены друг от друга на 8 см. Второй ряд панели выполнен идентично первому, но полосы смещены относительно полос фронтальной панели. Таким образом, может реализоваться механизм гашения УВ – от свободной границы (отверстия перфорации) ударная волна отражается в виде веера волн разрежения воздушного потока, а от твердой границы (сплошные участки перфорации) скачком уплотнения, что в сумме может ликвидировать отраженную стационарную ударную волну [12].

При разработке представленных технологических кабин параметры кабины рассчитаны по методике [12], включающей расчет параметров нагружения ограждающих конструкций кабины при взрыве заряда внутри нее – определение действующего квазистатического давления, импульса и времени действия квазистатической нагрузки; расчет на прочность перфорированных панелей; расчет параметров взрывных нагрузок за пределами перфорированной кабины и др.

Разработка перфорированной преграды, используемой для защиты особо важных и стратегически значимых объектов, требуется для полной защищенности людей от осколков, вторичных осколков и обломков строительных конструкций, механизмов, при этом ослабление избыточного давления воздушной УВ необходимо до значения $\Delta P^+ \leq 0,15 \text{ кг/см}^2$ (0,015 МПа). Параметры УВ за перфорированной преградой зависят в основном от давления падающей УВ от взрывного устройства и степени перфорации преграды.

Перфорированная преграда выполняется из полос шириной 9,9 см, расположенных на расстоянии 1 см друг от друга. Стальной прокат выполнен из стали Ст. 3 ГОСТ 535-88. Модуль упругости материала: $E = 2,1 \times 10^{11} \text{ Па}$. Плотность материала: $\rho = 7830 \text{ кг/м}^3$. Предел текучести материала полосы: $\sigma_T = 2,1 \times 10^8 \text{ Па}$.

Для технологических операций спроектирована кабина $30001 \times 6000 \text{ мм}$.

Давление за кабиной для эквивалентного сферического заряда массой 10 кг: $\Delta P = 0,108 \text{ МПа}$.

Конструкцию предлагаемой перфорированной панели можно использовать в качестве защиты от внешних воздействий УВ. В этом случае при взрыве эквивалентного заряда массой 10 кг на расстоянии 10 м от преграды длиной 10 м обеспечивается необходимое ослабление избыточного давления воздушной УВ до значения $\Delta P = 0,015 \text{ МПа}$.

Контроль качества перфорированной преграды

Разработка взрывозащитной конструкции сопровождается формированием конструкторской документации и комплекта чертежей. При изготовлении конструкций на заказ рекомендации разработчиков ложатся в основу технологии изготовления и контроля качества.

При изготовлении сварной конструкции перфорированной преграды обязателен контроль качества сварных швов в соответствии с требованиями ТУ. При выполнении сплошных швов, односторонних или двусторонних, величина наваров должна быть нормальной, не заниженной, слабой. При необходимости нужно сверять марку применяемых электродов с маркой применяемых сталей.

Если выполняются прерывистые, периодические швы, то они обязательно должны быть рекомендуемой длины и периодичности наваров. Если выполняются точечные навары швов, то они должны соответствовать необходимой периодичности. Следует контролировать выполнение предварительной расшивки швов.

Контроль качества провара полос проводится по присутствию синей побежалости с обратной стороны, то есть сталь была проплавлена до оранжевого цвета, но не насквозь – нормальный провар на толщину пластины.

Необходим контроль сборки конструкции и рекомендации установки по месту назначения, в том числе соответствие требованиям условия безопасной защиты и класса защиты применяемых конструкций. Оптимально – получение сертификата качества конструкции и установочных работ.

Должны исследоваться вопросы контроля соединения элементов, монтажа и установки в единый пояс по рекомендациям разработчика. В зависимости от смысловых требований по типу конструкции, по расположению по отношению к охраняемому объекту (все данные и контроль их исполнения на местах). Учитывается при контроле – на собственной опоре идет установка или используется подвес, мачтовая или балочная опора. Если опора своя, то контроль за соблюдением требований установки: заглубленная на своем фундаменте; вровень с поверхностью земли также на своем фундаменте заливном или использование железобетонных конструкций – перемычек, балок, ригелей и т.п. Конструкции могут быть приподнятыми над землей с использованием опорных железобетонных башмаков или просто стоящими на поверхности земли. Установка конструкций с применением или без дополнительных элементов прочности и устой-



чивости на опрокидывание – консолей, распоров, упоров, косынок прочности.

Резюмируя, спроектированные перфорированные кабина и защитная преграда обеспечивают диспергирование УВ при взрыве заряда взрывчатого вещества, то есть дифракционное «дробление, расщепление» входного воздушного потока на множество более мелких дифракционных потоков и одновременно обеспечивают противоосколочную защиту за счет эффекта разнесенной двуслойной конструкции. Комплекс предложений по формированию требований по контролю качества должны обеспечить необходимую безопасную защиту и класс защиты взрывозащитных перфорированных преград.

Источники

1. ГОСТ Р 56297-2014. Кабины железобетонные защитные для взрывоопасных производств. Технические требования и оценка прочности. М.: Стандартинформ, 2015. 48 с.

2. Физика взрыва / Под ред. Л.П. Орленко. 3-е изд., перераб.: В 2 т. Т. 2. М.: Физматлит, 2002. 656 с.

3. Одинцов В.А. Механика импульсного разрушения цилиндров // Вопросы физики взрыва и удара. М.: Труды МВТУ. В. 1. С. 22–70.

4. Одинцов В.А., Сидоренко Ю.М. Статистические модели осколочных спектров артиллерийских снарядов // Боеприпасы. 2000. № 3.

5. Осколочная граната Ф-1 («лимонка») [Электронный ресурс]. URL: <https://oskolochnaya-granata-f-1-limonka>

6. Гринь В.Т., Крайко А.Н., Миллер Л.Г. К распаду произвольного разрыва на перфорированной перегородке // ПМФТ. 1983. № 3. С. 95–103.

7. Гурин А.А., Малый П.С., Савенко С.К. Ударные воздушные волны в горных выработках. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1983. 223 с.

8. Клаповский В.Е., Минеев В.Н., Григорьев Г.С., Вершинин В.Ю., Логвеннов А.Ю. Ослабление воздушной ударной волны перфорированными преградами // ФГВ. 1983. № 5. С. 115, 116.

9. Стеценко С.А., Некрылов Ю.В., Алексенцева С.Е. Инженерно-технические средства защиты от терактов на основе перфорированных преград: В сб.: Современные проблемы специальной технической химии: Тезисы доклада на Международной научно-технической и методической конференции. Казань, КГТУ, 21–22 декабря 2007 г. Казань, 2007. С. 330–332.

10. Скоков М.В., Некрылов Ю.В., Алексенцева С.Е. Проектирование защитных сооружений двойного назначения: В сб.: Наука. Промышленность. Оборона: Материалы Всероссийской научно-технической конференции. Новосибирск, НГТУ, 21–23 апреля 2004 г. Новосибирск, 2004. С. 29.

11. ГОСТ Р 70400.3-2023. Кабины перфорированные защитные для взрывоопасных производств. Технические требования и оценка прочности. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 21 с.

12. Гродзовский Г.Л., Никольский А.А., Свищев Г.П., Таганов Г.И. Сверхзвуковые течения газа в перфорированных границах. М.: Машиностроение, 1967.

References

1. GOST R 56297-2014. Protective reinforced concrete cabins for explosive production facilities. Technical requirements and strength assessment. Moscow: Standartinform, 2015. 48 p.
2. Explosion Physics / Ed. by L.P. Orlenko. 3rd ed., revised: In 2 volumes. Vol. 2. Moscow: Fizmatlit, 2002. 656 p.
3. V. A. Odintsov. Mechanics of pulsed destruction of cylinders // Issues in the physics of explosion and impact. Moscow: Proceedings of Moscow Higher Technical University. Vol. 1. P. 22–70.
4. V. A. Odintsov, Yu. M. Sidorenko. Statistical models of fragmentation spectra of artillery shells // Ammunition. 2000. No. 3.
5. Fragmentation grenade F-1 («limonka») [Electronic resource]. URL: <https://oskolochnaya-granata-f-1-limonka>
6. Grin' V.T., Kraiko A.N., Miller L.G. On the decay of an arbitrary rupture on a perforated partition // PMFT. 1983. No. 3. Pp. 95–103.
7. Gurin A.A., Maly P.S., Savenko S.K. Shock air waves in mine workings. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Nedra, 1983. 223 p.
8. Klapovsky V.E., Mineev V.N., Grigoriev G.S., Vershinin V.Yu., Logvenov A.Yu. Attenuation of air shock wave by perforated barriers // FGV. 1983. No. 5. P. 115, 116.
9. Stetsenko S.A., Nekrylov Yu.V., Aleksentseva S.E. Engineering and technical means of protection against terrorist attacks based on perforated barriers: In the collection: Modern problems of special technical chemistry: Abstracts of the report at the International scientific, technical and methodological conference. Kazan, KSTU, December 21–22, 2007. Kazan, 2007. P. 330–332.
10. Skokov M.V., Nekrylov Yu.V., Aleksentseva S.E. Design of dual-purpose protective structures: In the collection: Science. Industry. Defense: Proceedings of the All-Russian scientific and technical conference. Novosibirsk, NSTU, April 21–23, 2004. Novosibirsk, 2004. P. 29.
11. GOST R 70400.3-2023. Perforated protective cabins for explosive production facilities. Technical requirements and strength assessment. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023. 21 p.
12. Grodzovsky G.L., Nikolsky A.A., Svishchev G.P., Taganov G.I. Supersonic gas flows in perforated boundaries. Moscow: Mashinostroyeniye, 1967.

Исследование методов применения композиционных материалов при изготовлении деталей конструкций вертолетов

Б.В. Бойцов

*д-р техн. наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ*

А.И. Ресинец

*канд. воен. наук, профессор
академии военных наук; Москва
e-mail: mx5500@mail.ru*

А.А. Ресинец

*начальник отдела АО «НЦВ Миль
и Камов»; г. Люберцы*

К.Н. Лойко

*студент
Московского авиационного
института (НИУ); Москва*

Аннотация. В статье основное внимание уделено исследованию применения композиционных материалов при изготовлении различных деталей конструкций вертолетов. Представлен обзор различных технологических методов изготовления элементов конструкций из композитных материалов в вертолетостроении.

Ключевые слова: композиционные материалы, вертолетостроение, автоклав, препрег.

Summary. The article focuses on the study of the use of composite materials in the manufacture of various parts of helicopter structures. An overview of various technological methods for manufacturing structural elements from composite materials in helicopter engineering is presented.

Keywords: composite materials, helicopter engineering, autoclave, prepreg.

В качестве методов исследования в данной работе будут использованы литературный обзор, анализ экспериментальных данных и сравнительный анализ. Литературный обзор позволит собрать и обобщить информацию о существующих методах, их преимуществах и недостатках. Анализ экспериментальных данных поможет выявить реальные характеристики различных технологий, а сравнительный анализ позволит оценить их эффективность по заранее установленным критериям.

Основными свойствами композиционных материалов являются высокая удельная прочность и трещиностойкость, вибро- и коррозионная стойкость, широкая анизотропия, технологичность и долговечность конструкции [1].

Методы изготовления элементов из ПКМ в вертолетах модельного ряда (рис. 1)

- Автоклавный метод;
- ламинирование вакуумом;
- вакуумная инфузия;
- формование пресс-камерой;
- обертывание нитями;
- метод RTM (Технология пропитки под давлением).

1. Автоклавное формование является одним из наиболее распространенных методов изготовления композитных материалов (КМ), особенно в авиационной и аэрокосмической промышленности. Этот процесс включает использование автоклава – специального устройства, которое обеспечивает контроль температуры и давления во время процесса отверждения. Основная идея автоклавного формования заключается в том, что под воздействием повышенного давления (5–6 атм.) и температуры смолы (120–180°C), используемые в композитах, полимеризуются, обеспечивая тем самым прочность и стабильность конечного продукта (рис. 2).

Применяемые материалы

- Смолы: обычно эпоксидные, полиэфирные, фенольные или высокотемпературные (например, полиимидные, цианат эфирные, бисмалимиды);
- волокна: любые. Используются либо напрямую с бобины, либо в виде ткани;
- срединный материал: используется специальный тип вспененных материалов из-за повы-

шенной температуры и давления, применяемых в данном процессе [2].

Основные преимущества

- Точно контролируется уровень смолы/ катализатора и содержание смолы в волокне. Можно легко получить высокое содержание волокна при малом количестве воздушных пустот;

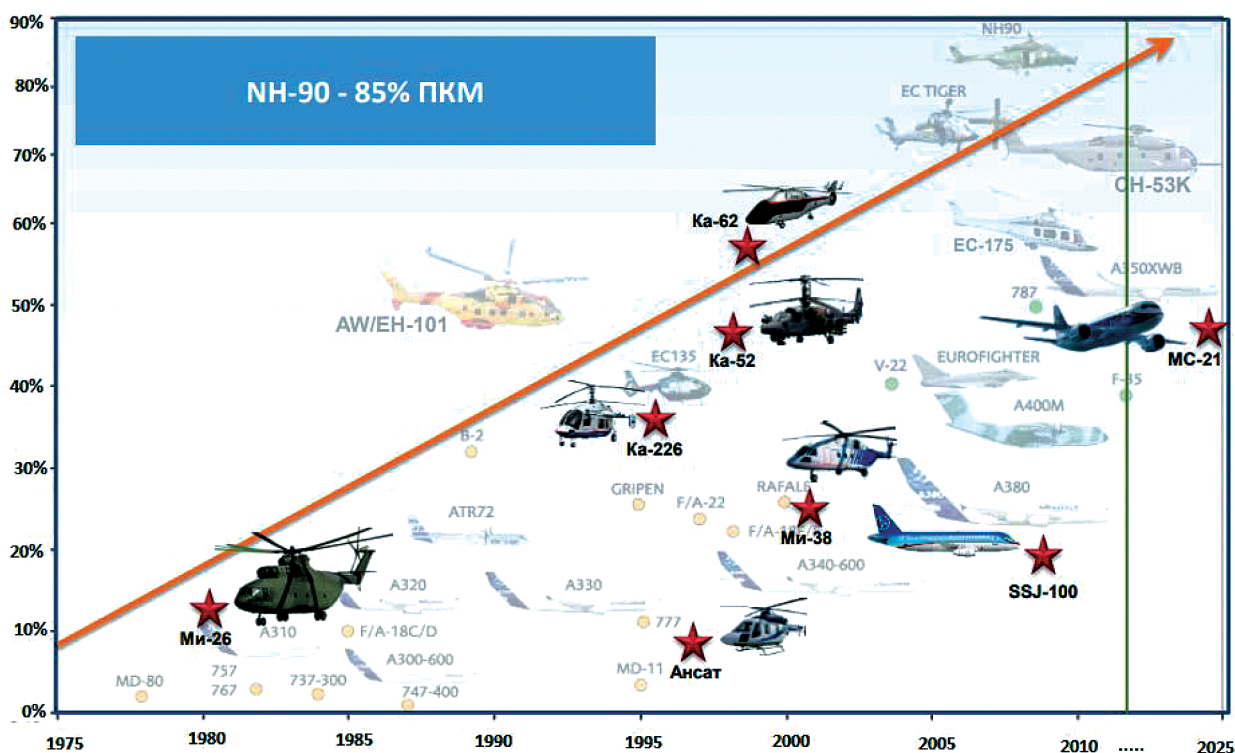


Рисунок 1. Доля полимерных композиционных материалов в конструкциях современных летательных аппаратов

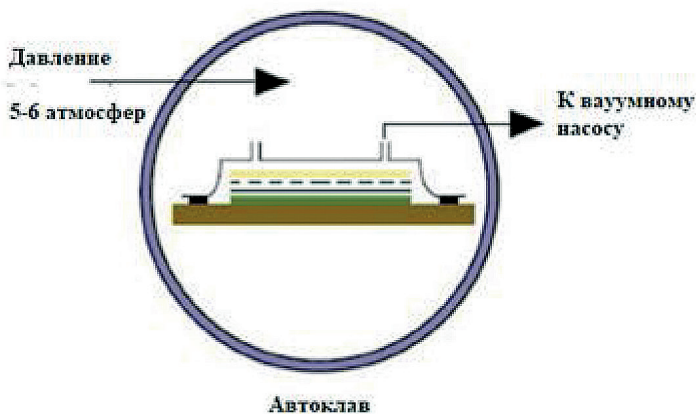


Рисунок 2. Автоклавное формование препрега

- стоимость волокна минимизируется при использовании однонаправленных лент, так как нет необходимости переделывать волокна в ткань перед применением;
- смола может быть оптимизирована по механическим тепловым свойствам. Можно использовать смолы с высокой вязкостью;
- длительное рабочее время (до нескольких месяцев при комнатной температуре) позволяет получить оптимизированную сложную выкладку;
- автоматизация и экономия трудозатрат;
- любые детали, изготовленные в автоклаве, имеют более высокое качество поверхности, меньшую пористость и механические свойства, более равноценные по всему объему изделия.

Основные недостатки

- Стоимость материалов для предварительно пропитанных волокон выше, для данных применений обычно требуются дорогостоящие улучшенные смолы;
- высокая стоимость и низкая производительность автоклава. Процесс нагрева и охлаждения медленный. Рабочее пространство автоклава ограничено, поэтому за одно формование обычно изготавливают небольшое количество изделий, что значительно увеличивает себестоимость изделия;
- оснастка должна выдерживать рабочую температуру, а срединные материалы – рабочую температуру и давление.

Для более толстых ламинатов слои препрега необходимо выкладывать аккуратно, чтобы не создавать воздух между ними [3].

Сферы применения в вертолетостроении

- Панели фюзеляжа и узлы оперения вертолетов Ка-52, Ка-62, Ка-226, Ка-27/32, Ми-28, Ми-26, Ми-35М;
- лонжероны лопастей несущих винтов Ми-28, Ми-35М;
- корпуса редукторов.

2. Ламинирование вакуумом – один из наиболее распространенных методов изготовления композитных материалов, особенно в авиационной и аэрокосмической промышленности. Этот процесс включает использование вакуума для удаления воздуха из слоев материала, что обеспечивает более плотное и однородное соединение между ними. Ламинирование вакуумом позволяет создавать высококачественные композитные детали с улучшенными механическими свойствами и меньшим весом, что особенно важно для конструкций, где критически важна прочность и легкость (рис. 3).

Процесс вакуумного ламинирования сочетает в себе ручное ламинирование и вакуумное формование. Он заключается в закрытии «мокрого» ламината вакуумным мешком с последующим отсасыванием воздуха, в результате чего отдельные слои ламината прижимаются друг к другу и излишки смолы отсасываются.

Эта технология требует подготовки специальной вакуумной установки, для чего необходимы вакуумный насос, вакуумные шланги, регулятор давления, вакуумметр и вспомогательные материалы (фольга, ленты и т.п.).

Как уже было сказано, процесс начинается, как и стандартное ручное ламинирование, с пропитки армирующих слоев смолой. Далее на

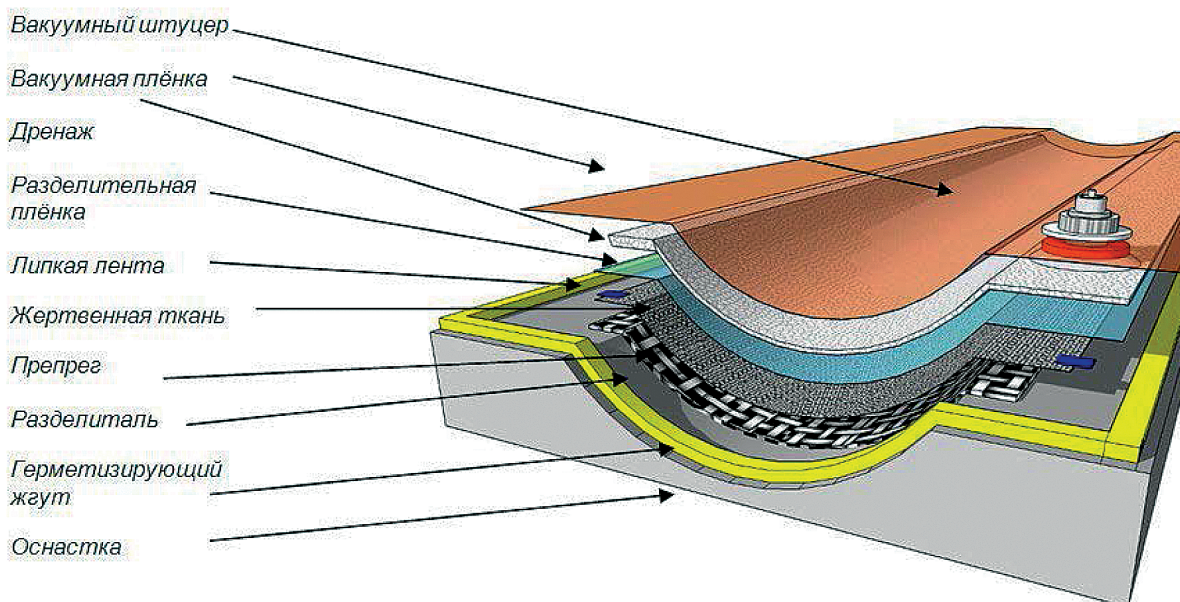


Рисунок 3. Ламинирование вакуумом



ламинат укладывают пленку, перфорированную фольгу и дышащую ткань. Все это накрывается вакуумным мешком (диафрагменной фольгой), который крепится к краям формы с помощью герметизирующей ленты. В случае форм небольших объемов возможно использование рукавов из фольги, в которые укладывается вся форма и запаиваются только концы рукава.

Рабочая установка позволяет производить отсос воздуха из ламината, обеспечивать надлежащее давление отдельных слоев и отсасывание излишков смолы из ламината. Поэтому элементы, изготовленные этим методом, характеризуются большей долей армирования в составе ламината, большей точностью изготовления, что напрямую выражается в повышении качественных и прочностных свойств готового элемента [2].

Основные преимущества

- Возможность получения изделий с минимальным содержанием смолы, что позволяет снизить вес конечного продукта;
- высокое качество изделий.

Основные недостатки

Во-первых, этот метод требует значительных временных затрат, так как процесс отверждения смолы может занимать длительное время;

во-вторых, оборудование для вакуумирования может быть дорогостоящим, что увеличивает общие затраты на производство. Также необходимо учитывать, что не все типы смол подходят для вакуумного ламинирования, что ограничивает выбор материалов.

Сферы применения в вертолетостроении: изготовление хвостовых балок вертолетов.

3. Вакуумная инфузия – это наиболее перспективная технология получения деталей из КМ. Этот процесс включает использование вакуума для пропитывания волокон смолой, что позволяет достичь высокой степени насыщения и прочности конечного продукта. В отличие от традиционных методов, таких как ручная укладка, инфузия смолой обеспечивает более равномерное распределение смолы и минимизирует количество пузырьков воздуха, что значительно улучшает механические свойства композита (рис. 4).

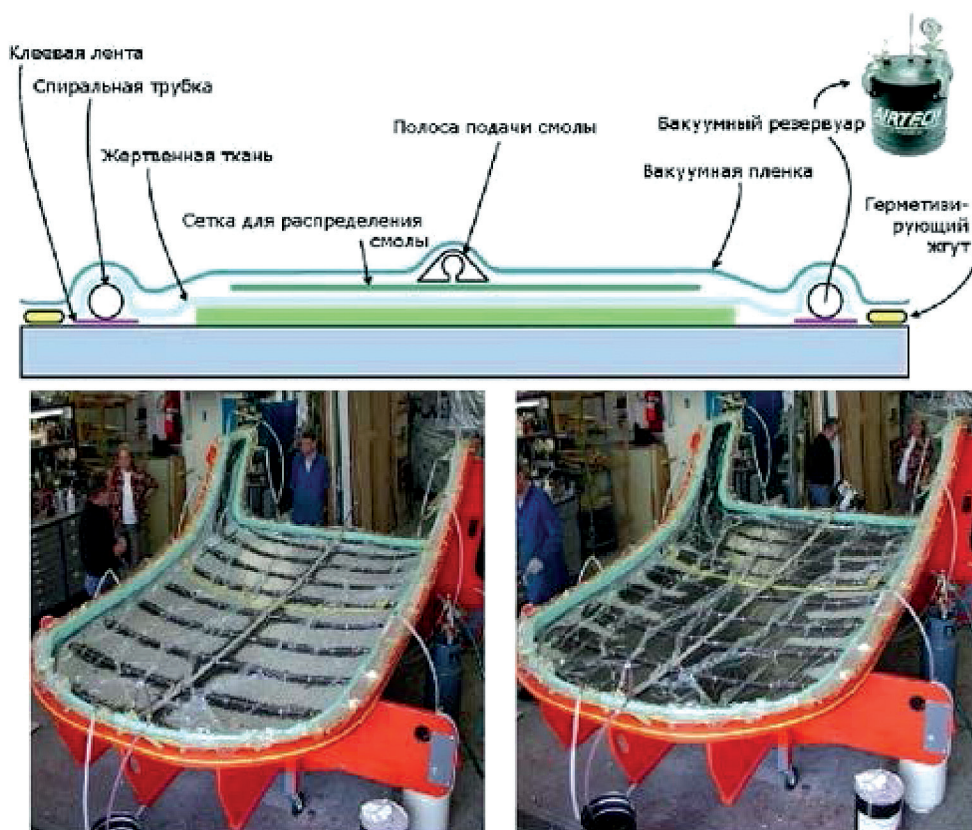


Рисунок 4. Вакуумная инфузия

Процесс инфузии начинается с подготовки формы, которая может быть выполнена из различных материалов, таких как алюминий, стеклопластик или другие композиты. Затем в форму укладываются предварительно подготовленные волокна, которые могут быть из углерода, стекла или арамидных волокон. После укладки волокон форма герметизируется и создается вакуум, который способствует вытягиванию воздуха из пространства между волокнами.

Когда вакуум установлен, смола подается в форму через специальные каналы. Давление, создаваемое вакуумом, помогает смоле равномерно распределяться по волокнам, проникая в самые труднодоступные места. Этот метод позволяет достичь высокой степени заполнения, что критически важно для обеспечения прочности и долговечности конечного продукта. После того как смола полностью пропитает волокна, форма оставляется для отверждения, что может занять от нескольких часов до нескольких дней в зависимости от типа используемой смолы и условий окружающей среды.

Одним из главных преимуществ инфузии смолой является возможность создания крупных и сложных конструкций с минимальными затратами на трудозатраты. В отличие от ручной укладки, где требуется много времени и усилий для достижения нужного качества, инфузия позволяет автоматизировать процесс, что значительно сокращает время производства. Кроме того, инфузия смолой позволяет использовать более низкие количества смолы, что делает процесс более экономичным и экологически чистым.

Основные преимущества

- Возможность создания крупных и сложных конструкций с минимальными затратами на трудозатраты;
- инфузия смолой позволяет использовать более низкие количества смолы, что делает процесс более экономичным и экологически чистым;
- автоматизация процесса, что значительно сокращает время производства;
- снижение эмиссии в окружающую среду стирола в процессе использования полиэфирных смол;
- значительное снижение отходов производства;
- доступная цена оборудования и материалов;
- улучшение показателей легкости и прочности стеклопластиковых конструкций.

Основные недостатки

- Некоторые ограничения в применении наполнителей;

- процесс требует тщательной подготовки и контроля, так как любые ошибки на этапе укладки волокон или подачи смолы могут привести к дефектам в конечном продукте;
- ограниченная возможность использования в условиях, где требуется высокая скорость производства;
- повышенные требования к квалификации персонала [4, 5].

Сферы применения в вертолетостроении

Вакуумная инфузия остается одним из наиболее эффективных методов изготовления хвостовых балок, лючков, дверей, капотов и ненагруженных элементов планера.

4. Формование пресс-камерой – это один из основных методов обработки материалов, который широко используется в различных отраслях промышленности, включая авиастроение. Этот процесс включает применение давления для формирования или изменения формы материала, что позволяет получать изделия с заданными характеристиками и размерами (рис. 5).

Существует несколько видов прессования, каждый из которых имеет свои особенности и применяется в зависимости от типа обрабатываемого материала и желаемого результата. Одним из наиболее распространенных видов является холодное прессование, при котором материал обрабатывается при комнатной температуре. Этот метод часто используется для обработки металлов и пластмасс, так как он позволяет достичь высокой точности размеров и хорошей поверхности изделий. Холодное прессование также снижает вероятность образования дефектов, таких как трещины или деформации.

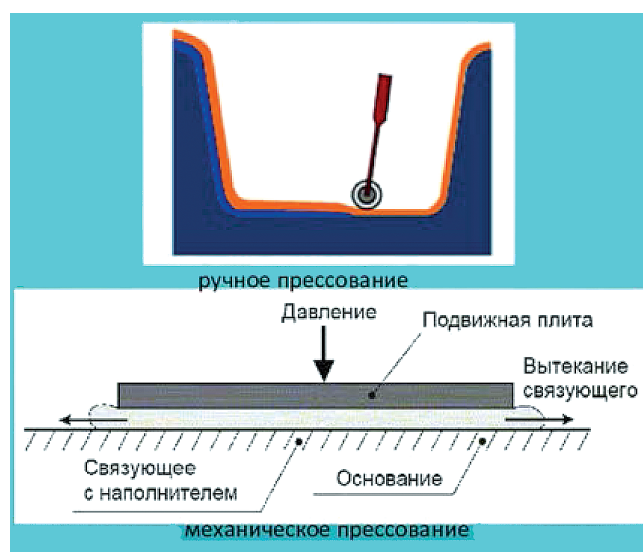


Рисунок 5. Прессование

Горячее прессование в отличие от холодного осуществляется при повышенных температурах. Этот метод применяется для создания композитных материалов, где прессование помогает достичь лучшей адгезии между компонентами.

Основные недостатки

- Высокая стоимость оборудования и инструментов, необходимых для проведения процесса;
- увеличение времени прессования и высокие затраты на производство из-за тщательной подготовки материалов и контроля параметров процесса.

Прессовым способом изготавливаются:

- композитные торсионы втулок несущих винтов вертолетов Ансат, Ка-52, Ка-62, Ка-226;
- некоторые виды обшивок.

5. Лонжероны лопастей несущих и рулевых винтов вертолетов Ка-27/32, Ка-52, Ка-62, Ка-226, Ансат, Ми-34, Ми-38.

6. **Обертывание нитями** является одним из распространенных методов изготовления хвостовых балок из КМ. Этот процесс включает использование нитей, обычно из углеродных или стеклянных волокон, которые обвиваются вокруг предварительно сформированной модели или каркаса. Такой подход позволяет создать композитные структуры с высокой прочностью и легкостью, что особенно важно в авиационной и аэрокосмической отраслях (рис. 6).

Способы намотки можно классифицировать:

- по способу совмещения связующего и наполнителя;
- по рисунку укладки арматуры;
- по устройству намоточного оборудования [6].

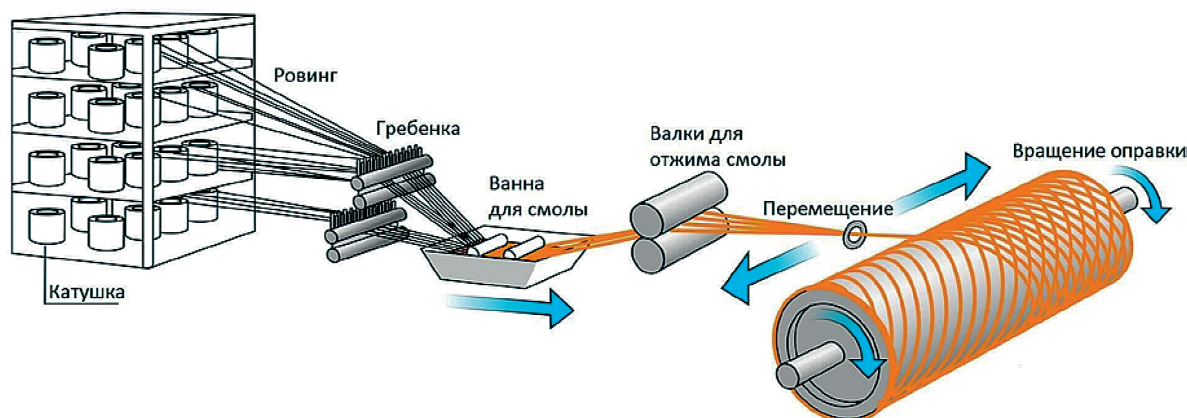


Рисунок 6. Обертывание нитями

Основные преимущества:

- возможность достижения высокой степени контроля над ориентацией волокон;
- позволяет создавать сложные геометрические формы, что делает этот метод особенно привлекательным для изготовления хвостовых балок, которые часто имеют сложные профили.

Основные недостатки

Во-первых, этот процесс может быть трудоемким и требовать значительных временных затрат, особенно при производстве больших партий изделий;

во-вторых, качество конечного продукта во многом зависит от квалификации оператора, что может привести к вариациям в прочности и других характеристиках изделий;

в-третьих, высокая стоимость материалов и оборудования, что приводит к увеличению общих затрат на производство.

7. Технология пропитки под давлением (технология RTM)

Технологический процесс RTM используется при мелкосерийном и среднесерийном производстве деталей из стеклопластика и углепластика (рис. 7). Метод заключается в пропитке сухого армирующего материала (предварительно раскроенного и уложенного в форму) термореактивным связующим под давлением. Изделия, изготовленные по методу RTM, имеют финишную обработку со всех сторон и обладают высокими механическими характеристиками [7].

Основные преимущества

- Возможность производства сложных, интегрированных деталей (экономия на сборочных операциях);

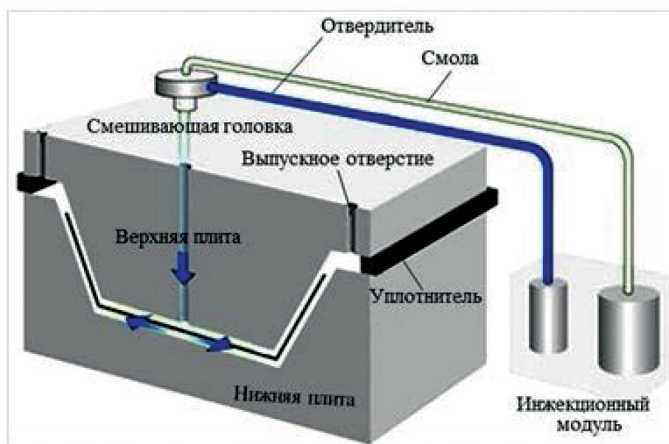


Рисунок 7. Схема процесса получения изделий из ПКМ методом пропитки под давлением (RTM) [8]

- высокая точность деталей (размерные допуски) и близость геометрических размеров, извлекаемых из штампа к окончательным (минимум механической обработки);
- возможность изготовления толстостенных, массивных деталей сложной геометрии за минимальное количество операций (что зачастую невозможно достичь другими методами);
- высокие механические характеристики получаемых композитов, минимальное количество пор (большой ресурс изделий);
- легко окрашиваемые поверхности;
- быстрое изготовление.

Основные недостатки

- Относительная длительность процесса;
- зависимость качества конечного продукта от расположения трубок дренажной системы;
- в некоторых случаях высокая стоимость оснастки, связанная с ее конструктивной сложностью.

Способом RTM изготавливаются ответственные, высоконагруженные композитные детали с высокими допусками (например, высоконагруженных элементов планера, деталей авиационного двигателя из углепластика).

Технология RTM дает возможность изготовления деталей, имеющих гладкую, качественную поверхность со всех сторон. Метод предоставляет широкие возможности для дизайна, при правильной конструкции штампа и соответствующей подготовке преформы возможно производство сложнопрофильных деталей с выступами, волнами, перепадом толщины.

Узлы и детали, изготавливаемые из ПКМ вертолетов различных конструктивных схем, представлены на рис 8.

В настоящее время в авиационной и космической технике находят применение хвостовые балки изогридной (сетчатой) конструкции как более легкие по сравнению с металлическими и сотовыми.

Хвостовая балка изогридной (сетчатой) конструкции состоит из усиливающего торцевого



Рисунок 8. Узлы и детали из ПКМ модельного ряда вертолетов



шпангоута (1) (рис. 9), установленного в районе стыка с фюзеляжем, усиливающего торцевого шпангоута (2), расположенного в районе хвостового оперения вертолета, на котором установлена оболочка (9). Обшивка (8), продольные ребра (6) и спиральные ребра (7) образуют сетчатый каркас.

Усиливающий шпангоут (1) предназначен для крепления хвостовой балки к фюзеляжу вертолета. Вследствие наличия в нем металлической фольги обеспечивается повышенная прочность крепления.

Усиливающие шпангоуты (3, 4, 5) – для крепления хвостового оперения и хвостового редуктора, а также для крепления оборудования, установленного внутри хвостовой балки.

Усиливающие шпангоуты (1–5) поддерживают продольные (6) и спиральные (7) ребра, вследствие чего отсутствует необходимость установки кольцевых и дополнительных ребер.

Хвостовая балка изогридной (сетчатой) конструкции из КМ изготавливается на стандартном оборудовании по известным технологиям и позволяет увеличить ее долговечность. Масса хвостовой балки не увеличена, поскольку отсутствуют кольцевые и дополнительные ребра [9, 10].

В заключение можно сделать вывод о том, что на основании рассмотренных методов формования изделий из ПКМ невозможно дать однозначную

оценку, какому из представленных методов отдать предпочтение, поскольку среди них отсутствуют универсальные. Подбирать наиболее оптимальный метод формования изделий из ПКМ необходимо исходя из требований к конечному продукту и наличия ресурсов.

Проведенный анализ использования ПКМ в вертолетостроении показывает, что потенциально возможными элементами конструкции к изготовлению из ПКМ являются следующие.

Несущая система:

- втулка несущего и рулевого винта (стеклопластик, углепластик, металлокомпозит);
- лопасти несущего, рулевого винта и фенестрона (стеклопластик, углепластик, сотовые панели);

Элементы трансмиссии:

- корпуса главного, промежуточного и хвостового редукторов (поликарбонаты горячего формования, углепластик);

Элементы конструкции:

- капоты двигателей (поликарбонаты горячего формования, стеклопластик, кевлар, углепластик, сотовые панели);
- обтекатели и подвесные топливные баки (поликарбонаты горячего формования, стеклопластик, углепластик, кевлар, сотовые панели);

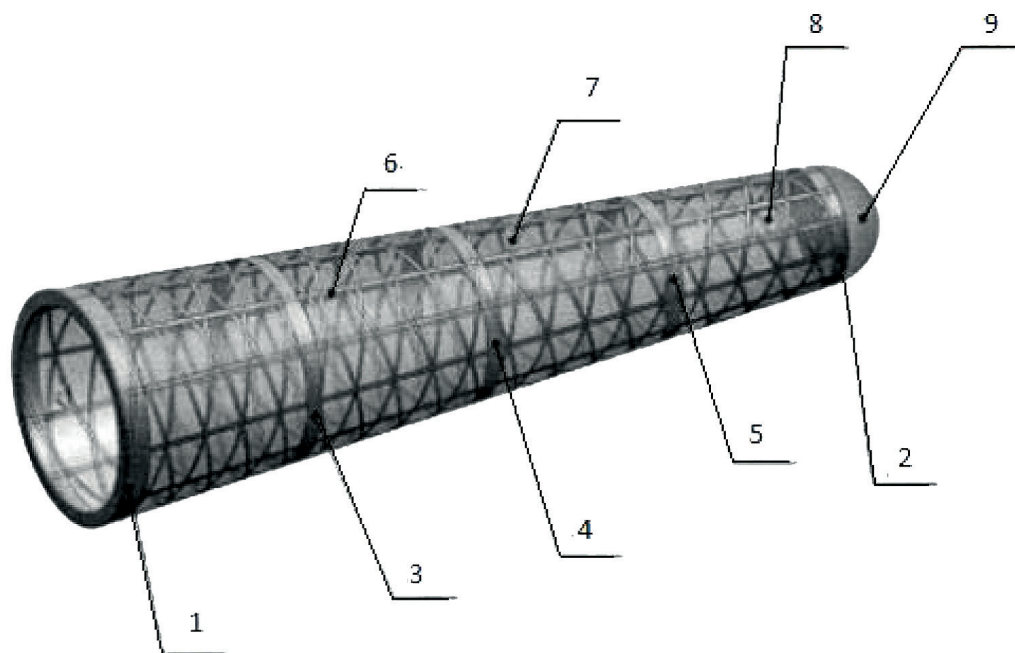


Рисунок 9. Общий вид аксонометрической проекции хвостовой балки изогридной (сетчатой) конструкции вертолета: 1 – усиливающий торцевой шпангоут в районе стыка с фюзеляжем; 2 – усиливающий торцевой шпангоут в районе хвостового оперения; 3, 4 – усиливающие шпангоуты; 5 – усиливающий шпангоут в районе хвостового оперения; 6 – продольные ребра; 7 – спиральные ребра; 8 – обшивка; оболочка

стик, кевлар, углепластик, сотовые панели);

- лючки (поликарбонаты горячего формования, стеклопластик, сотовые панели);
- двери (углепластик, стеклопластик);
- хвостовая балка (углепластик, сотовые панели, сетчатые конструкции);
- панели грузового пола (сотовые панели, углепластик);
- хвостовое оперение: киль, стабилизатор, обтекатель фенестрона (углепластик, стеклопластик);
- крыло (углепластик);
- панели фюзеляжа (углепластик, сотовые панели).

Это приведет:

- к снижению веса перспективных конструкций на 15–30%;
- увеличению ресурса на 50–100%, переход на эксплуатацию по состоянию;
- сохранению уровня ремонтпригодности, сравнимого с достигнутым на металлических конструкциях;
- снижению себестоимости продукции на 30%;
- снижению стоимости жизненного цикла изделия на 10–15%;
- увеличению интегрального показателя по ТТХ на 10–15%.

Источники

1. Макарейкин В.С. Композиционные материалы и технологии в вертолетостроении [Электронный ресурс]. URL: https://aviatp.ru/files/aviaevents13-16/Helirussia-2013/1_Makareykin.pdf
2. Ламинирование изделий при помощи вакуумного мешка [Электронный ресурс]. URL: <https://mskvac.ru/articles/tag/>
3. Автоклавное формование [Электронный ресурс]. Композит Изделия. URL: <https://cp-vm.ru/technology/avtoklavnoe-formovanie/>
4. Автоклавное формование препрега [Электронный ресурс]. CarbonStudio URL: <https://carbonstudio.ru/technologies/avtoklavnoe-formovanie-preprega>
5. Метод вакуумной инфузии [Электронный ресурс]. Erstvak. URL: https://erstvak.com/company/articles/vakuumnaya_infuziya/
6. Технология производства изделий из полимерных композиционных материалов [Электронный ресурс]. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/3568/14/1358540_presentation_ch_2.pdf
7. Технология пропитки под давлением (технология RTM) [Электронный ресурс]. Sagrit. URL: <https://sagrit.ru/tehnologii/tehnologiya-propitki-pod-davleniem-tehnologiya-rtm/>
8. Колпачков Е.Д., Петрова А.П., Курносов А.О., Соколов И.И. Методы формования изделий авиационного назначения из ПКМ: Обзор [Электрон-

ный ресурс]. Труды ВИАМ. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1485_dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36

9. Разин А.Ф., Бахвалов Ю.О., Петроковский С.А., Полиновский В.П., Бахтин А.Г. Особенности проектирования композитных сетчатых отсеков, связанные с условиями их нагружения // Конструкции из композиционных материалов. 2009. № 4. С. 34–43.

10. Нерадько Д.В., Коротков Л.В., Алимов С.А., Басинов Н.Е. Изогридная (сетчатая) хвостовая балка вертолета, изготовленная из композиционных материалов [Электронный ресурс]. Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/RU176806U1/ru>

References

1. Makareikin V.S. Composite materials and technologies in helicopter construction [Electronic resource]. URL: https://aviatp.ru/files/aviaevents13-16/Helirussia-2013/1_Makareykin.pdf
2. Lamination of products with the help of a vacuum bag [Electronic resource]. URL: <https://mskvac.ru/articles/tag/>
3. Autoclave molding [Electronic resource]. Composite of the product. URL: <https://cp-vm.ru/technology/avtoklavnoe-formovanie/>
4. Autoclave molding of prepreg [Electronic resource]. CarbonStudio URL: <https://carbonstudio.ru/technologies/avtoklavnoe-formovanie-preprega>
5. Method of vacuum infusion [Electronic resource]. Erstvak. URL: https://erstvak.com/company/articles/vakuumnaya_infuziya/
6. Technology of products manufacture from polymer composite materials [Electronic resource]. URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/3568/14/1358540_presentation_ch_2.pdf
7. Technology of impregnation under pressure (RTM technology) [Electronic resource]. Sagrit. URL: <https://sagrit.ru/tehnologii/tehnologiya-propitki-pod-davleniem-tehnologiya-rtm/>
8. Kolpachkov E.D., Petrova A.P., Kurnosov A.O., Sokolov I.I. Methods of forming aviation products from polymer composite materials: Review [Electronic resource]. Proceedings of VIAM. URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1485_dx.doi.org/10.18577/2307-6046-2019-0-11-22-36
9. Razin A.F., Bakhvalov Yu.O., Petrokovsky S.A., Polinovsky V.P., Bakhtin A.G. Features of design of composite mesh compartments associated with the conditions of their loading // Structures from composite materials. 2009. No. 4 PP. 34–43.
10. Neradko D.V., Korotkov L.V., Alimov S.A., Basinov N.E. Isogrid (mesh) tail boom of a helicopter made of composite materials [Electronic resource]. Google Patents. URL: <https://patents.google.com/patent/RU176806U1/ru>



Анализ применения композитных материалов в авиастроении

Б.В. Бойцов

д-р техн. наук, профессор, заслуженный
деятель науки РФ,

А.И. Ресинец

канд. воен. наук, профессор
академии военных наук; Москва

e-mail: mx5500@mail.ru

А.А. Ресинец

начальник отдела АО «НЦВ Миль
и Камов»; г. Люберцы

Аннотация. В статье основное внимание уделено исследованию применения композиционных материалов в самолето- и вертолетостроении. Показано, что доля композитов в конструкции воздушных судов постоянно возрастает несмотря на их высокую стоимость. Широкое применение полимерных композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов в 2025–2035 гг. будет сопровождаться внедрением автоматизированных процессов, математического моделирования и переходом на безавтоклавные технологии.

Ключевые слова: композиционные материалы, вертолетостроение, вертолет, среднемагистральный самолет, летательный аппарат.

Summary. The article focuses on the study of the use of composite materials in aircraft and helicopter engineering. It is shown that the share of composites in aircraft construction is constantly increasing despite their high cost. The widespread use of polymer composite materials in aircraft construction in 2025–2035 will be accompanied by the introduction of automated processes, mathematical modeling, and the transition to non-autoclave technologies.

Keywords: composite materials, helicopter engineering, helicopter, medium-range aircraft, aircraft.

Композит – это материал, состоящий из двух или более компонентов, которые в сочетании друг

с другом создают новый материал или улучшают характеристики одного из них [1–3]. Все композиционные материалы (КМ) в своем составе имеют матрицу и жесткий армирующий наполнитель. Роль наполнителя, как правило, играют углеродные или стеклянные волокна, а матрица – это полимерный материал. Такая конструкция позволяет создавать легкие, но очень прочные детали. Поэтому именно в авиастроении композиты стали особенно популярны – они увеличивают прочность авиационных деталей, снижают их вес и увеличивают антикоррозийную стойкость.

Снижение веса является самым большим преимуществом использования КМ и одним из ключевых факторов при принятии решений относительно его выбора. Другие преимущества включают его высокую коррозионную стойкость и устойчивость к усталостным повреждениям. Эти факторы играют роль в снижении эксплуатационных расходов самолета в долгосрочной перспективе, еще больше повышая его эффективность. Композиты имеют то преимущество, что им можно придать практически любую форму с помощью процесса формования, но это усугубляет и без того сложную проблему моделирования [4].

Доля композитов в конструкции среднемагистрального самолета МС-21 составляет порядка 40% (рис. 1).

Применять КМ авиаконструкторы начали примерно с 1960-х годов. С того времени объем использования композитов в авиации неуклонно возрастает. Например, ровно половину веса самолета Boeing 787 Dreamliner составляют композиционные материалы, 20% – алюминий, около 15% – титан, 10% – сталь.

В конструкции российских лайнеров также используются композиты. В начале 1990-х в среднемагистральном самолете Ту-204 из КМ было сделано 25% деталей, в том числе вся механизация крыла, а также панели люков, полов и интерьера. В самолете Sukhoi Superjet 100 из композитных материалов выполнены закрылки, створки шасси, обтекатели и другие элементы. Рекордсменом среди отечественных лайнеров стал среднемагистральный самолет МС-21 – на композиты приходится 40% массы. Кроме того, это первый российский самолет с крылом, полностью состоящим из КМ, а также первый в мире среди лайнеров такого класса.

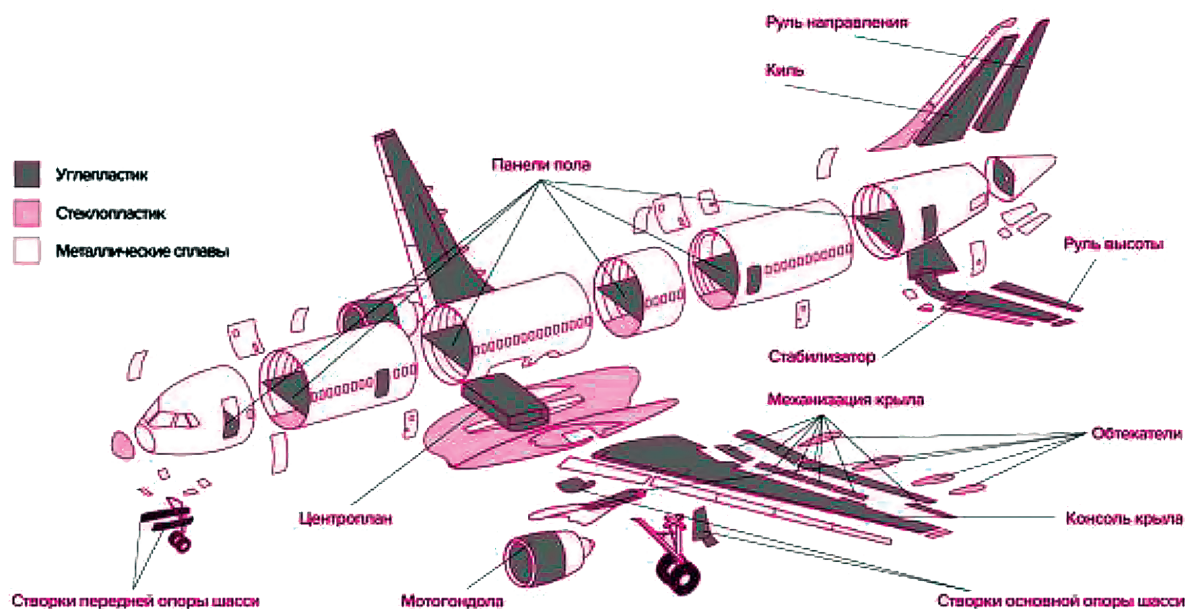


Рис. 1. Композиционные материалы в конструкции среднемагистрального самолета MS-21

Главный недостаток КМ состоит в том, что они дорогие в производстве. Один килограмм дюралюми для самолета стоит в разы дешевле, чем килограмм углепластика. Высокая стоимость также объясняется трудоемким и часто сложным процессом изготовления. Композиты трудно проверять на наличие дефектов, а некоторые из них впитывают влагу. Кроме того, композиты по сравнению, например, с алюминием, который легко изготавливать и ремонтировать, при повреждении требуют немедленного ремонта, что сложно и дорого.

Несмотря на это, производство и применение композитов в авиастроении остается выгодным. При этом выбор правильной технологии изготовления композитов может даже снизить суммарную себестоимость воздушного судна (ВС).

Сегодня известны два основных способа производства композитных элементов. Первый — традиционный, автоклавный. В этом случае формируется своеобразный «сэндвич»: внутри — алюминиевые соты, сверху и снизу — сотни слоев углепластика, которые наносятся лазерным проектором слой за слоем. После выкладки этот «сэндвич» (препрег) проводит восемь часов в автоклаве, где превращается в прочную и легкую авиационную деталь.

Второй способ производства композитных элементов — инфузионная технология. Главное достоинство данного метода — возможность изготавливать за один технический передел весьма сложные конструкции, например панель крыла. С препрегами

это невозможно — конструкцию пришлось бы собирать из отдельных деталей, то есть потратить больше времени, а главное — увеличить вес из-за использования крепежа. Кроме того, для инфузионной технологии не нужны автоклавы, которые особенно затратны для крупных деталей. Все эти преимущества делают производство выгодным.

Широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в конструкциях летательных аппаратов (ЛА) в 2025–2035 гг. будет сопровождаться внедрением автоматизированных процессов, математического моделирования на этапах жизненного цикла таких конструкций (проектирование, изготовление) с использованием при их производстве комбинаций термопластичных и термореактивных матриц и металлических элементов, а также переходом на безавтоклавные технологии [5].

Планируемое количество ВС, необходимых для перевозки пассажиров, к 2034 г. составляет более 30 тыс. (рис. 2).

При разработке новых узкопроходных самолетов необходимо применять новые материалы и безавтоклавную технологию (out-of-autoclave, OOA), которые значительно сократят продолжительность цикла изготовления деталей, что позволит увеличить производство самолетов в количестве до 100 единиц в месяц.

Одной из разновидностей технологии OOA является метод инфузии и пропитки под давлением (Resin Transfer Moulding, RTM), который при разработке самолетов следующего поколения будут

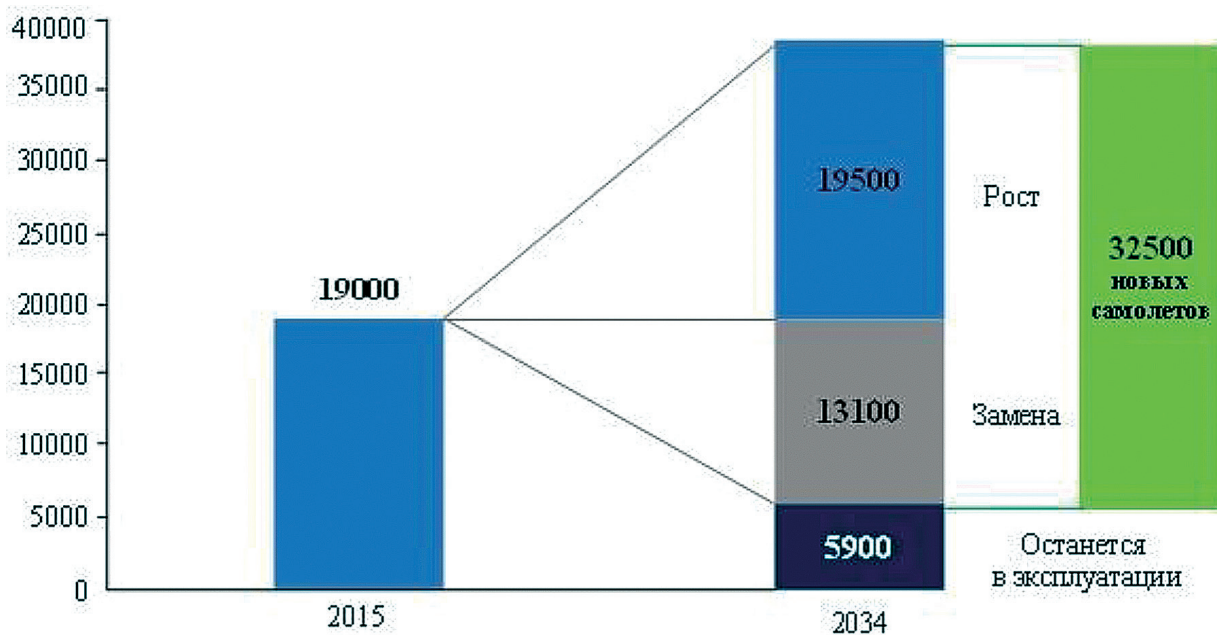


Рис. 2. Планируемая потребность в пассажирских самолетах до 2034 г.

использовать в будущем, в частности, при изготовлении обшивки крыльев, лонжеронов, нервюры и кессона крыла.

Процесс изготовления крыльев методом инфузии используют для двух коммерческих узкофюзеляжных самолетов – Airbus A220 и MC-21.

Изготовление для самолета MC-21 крыльев из углепластика безавтоклавным способом доказывает, что инфузия возможна для коммерческих самолетов, однако скорость производства деталей для таких ВС остается пока относительно низкой, поэтому необходима разработка новой технологии с высокопроизводительным уровнем изготовления [6].

При изготовлении композитных конструкций современных самолетов применяются такие автоматизированные технологии, как выкладка препрега, намотка, инфузия и пропитка под давлением. В перспективе намечается расширение объема использования аддитивных технологий, что позволит получать детали сложной формы, в том числе с внутренними каналами или пустотами. В настоящее время по аддитивным технологиям производят в основном конструкции из термопластичных материалов небольших габаритов. В перспективе – изготовление крупногабаритных деталей на основе различных связующих.

Другим очень важным вопросом является снижение стоимости конструкций и разработка технологий вторичного использования отслуживших свой срок деталей. Как показывает практика, снижение стоимости возможно при увеличении объемов и разработке новых, более экономичных способов производства.

Применение КМ в самолетостроении обеспечило новый качественный скачок в увеличении мощности ЛА и уменьшении их массы [7], снижении расхода топлива и увеличении дальности полета.

Объемы авиаперевозок по всему миру ежегодно растут, требования по обеспечению безопасности полетов (БП) повышаются. За счет использования КМ удастся достичь улучшения функциональных характеристик с соответствующим повышением надежности ЛА и БП.

Преимущества применения углекомполитов

Использование КМ на основе углеродного волокна позволяет снизить вес ЛА в среднем на 30%, сохранив при этом высокую прочность конструкции. КМ-материалы обладают высокой вибрационной и коррозионной стойкостью, что обеспечивает продолжительный срок службы и безопасную эксплуатацию механизмов.

Преимущества композитных деталей на основе углеволокна в авиастроении перед деталями, изготовленными из сплавов металлов, следующие:

- весовые качества;
- высокая прочность;
- устойчивость к коррозии;
- высокие усталостные характеристики;
- износостойкость.

Углепластик имеет малый удельный вес – 1,5 г/см³ (алюминиевые сплавы – 2,8 г/см³, титановые сплавы – 4,5 г/см³). Деталь из композитов может быть до 80% легче металлической. Прочность и жесткость углепластиков примерно в 6 раз выше, чем у основных сортов стали.

Композиты используют в изготовлении ряда частей ВС. В их числе воздушные тормоза, интерцепторы, элероны, закрылки, рули направления и рулевые поверхности; элемент конструкции сложной закрылки, пилоны, панели коробки приводов, люки коробки приводов, лопасти воздушных винтов, панели крыльев вертикального и горизонтального оперения, элементы силового набора (центроплан, кессон, лонжероны, стрингеры, нервюры), элементы обшивки фюзеляжа, элементы внутреннего силового набора (балки и панели полов, перегородки), детали интерьеров и отделки, а также двери, капоты авиадвигателя и многое другое.

В вертолестроении (в частности, вертолета Ка-50) КМ из углеродного волокна использовались для изготовления: лопастей несущего винта (несущих винтов), силовых элементов фюзеляжа, корпусных деталей (панели кабины экипажа, консоли стабилизатора, крыльев, вертикального оперения, хвостовой балки, центрального кессона, контейнера топливных баков). Помимо конструкций типа трехслойных панелей из ПКМ были выполнены окантовки дверей и люков кабины экипажа, носовой кок, различные зализы, кожухи, крышки люков и другие элементы конструкции фюзеляжа (рис. 3) [8, 9].

ОКБ имени Н.И. Камова имело большой опыт применения ПКМ в конструкции фюзеляжей нескольких поколений своих вертолетов типа Ка-27, Ка-29, Ка-32, Ка-226, в конструкции которых были применены органопластики типа «Органит-7т». Низкая скорость распространения трещин (в том числе усталостных), высокая вязкость разрушения, ударо- и вибропрочность органопластиков позволили применить их в конструкции таких агрегатов, как лопасти, рули направления, хвостовая часть стабилизатора. Экспериментальные исследования опытных агрегатов, включая летные испытания, показали высокую эффективность этих органопластиков – к примеру, при увеличении разрушающей нагрузки на 9% снижение массы отдельных элементов руля направления составило 30%, а массы всего руля – 15%.

Выводы

1. Внедрение композитных материалов в авиационном строительстве позволило получить элементы конструкций воздушных судов с заданными параметрами прочности, надежности, безопасности и другими эксплуатационными характеристиками.
2. Легкие и прочные углекомпозиты позволяют совершенствовать конструкции современных летательных аппаратов, снижать расход топлива и увеличивать дальность полета.

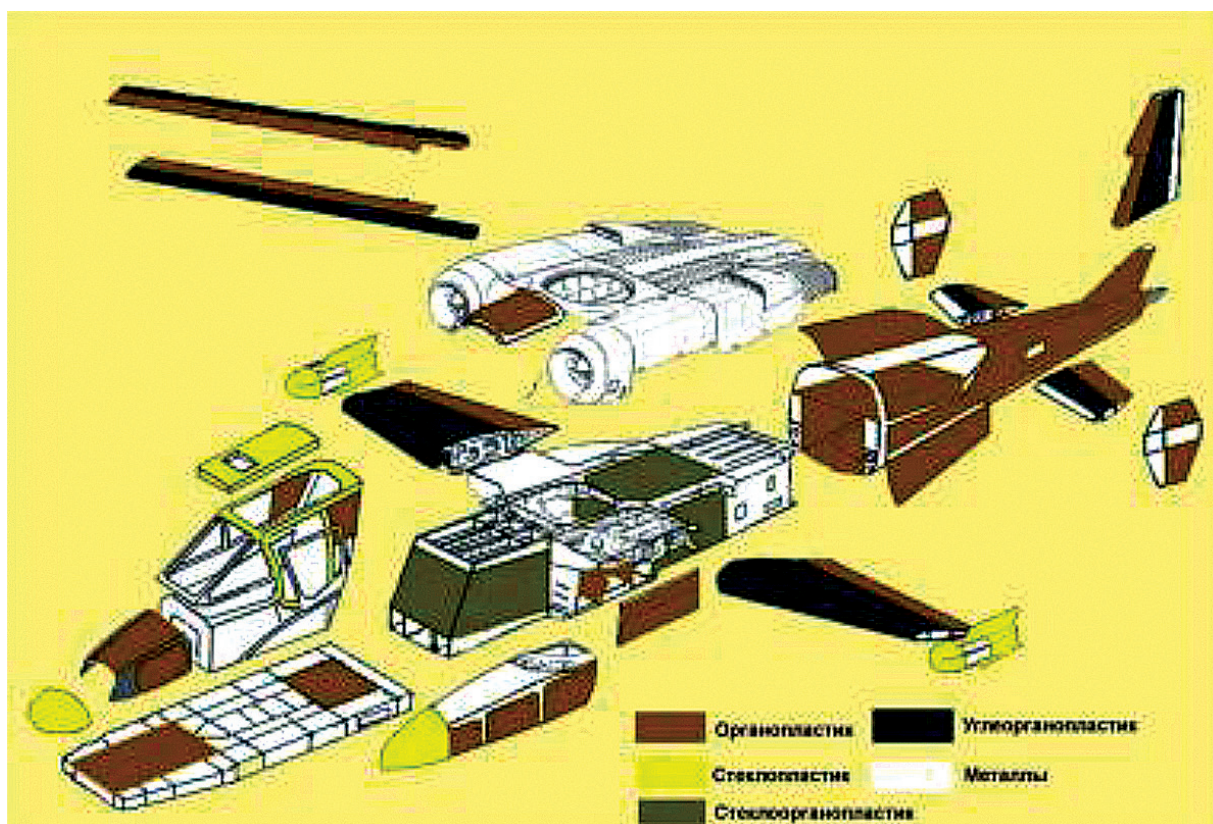


Рис. 3. Применение ПКМ в конструкции вертолета Ка-50



Источники

1. Михеев С.В., Строганов Г.Б., Ромашин А.Г. Керамические и композиционные материалы в авиационной технике. М.: Альтекс, 2002. 276 с.: ил.
2. Композиционные материалы в конструкции летательных аппаратов: Сб. статей. М.: Машиностроение, 1975. 272 с.
3. Уткин А. Композитные преимущества [Электронный ресурс]. Ростех. Медиа. 2021. 16 декабря. URL: <https://rostec.ru/media/news/kompozitnye-preimushchestva/#start>
4. Композиты в авиастроении [Электронный ресурс]. Appropedia. URL: https://www.appropedia.org/Composites_in_the_Aircraft_Industry/ru
5. Gladunova O. Prospects for the use of composites in aircraft structures // Труды ВИАМ. 2023. 12 января. URL: <https://compositeworld.ru/articles/app/id63bfb422fb445b0019831c33>
6. Славин А.В., Донецкий К.И., Хрульков А.В. Перспективы применения полимерных композиционных материалов в авиационных конструкциях в 2025–2035 гг.: Обзор // Труды ВИАМ. 2022 № 11(117). URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1942
7. Авиастроение. Легкие и прочные силовые элементы летательных аппаратов [Электронный ресурс]. ЮМАТЕКС. Росатом. URL: <https://umatex.com/applications/aircraft/>
7. Башаров Е.А., Вагин А.Ю. Анализ применения композиционных материалов в конструкции планеров вертолетов // Труды МАИ. Вып. 92. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/>
8. Вагин А.Ю., Головин В.В. Композиты в каркасных конструкциях // Вертолет. 1998. № 4. С. 12–15.
9. Михеев С.В. Прикладная механика в вертолетостроении. М.: Альтекс, 2003. 264 с.: ил.

References

1. Mikheev S.V., Stroganov G.B., Romashin A.G. Ceramic and composite materials in aircraft engineering. Moscow: Alteks, 2002. 276 p.: ill.
2. Composite materials in aircraft design: Collection of articles. Moscow: Mashinostroyeniye, 1975. 272 p.
3. Utkin A. Composite advantages [Electronic resource]. Rostec. Media. 2021. December 16. URL: <https://rostec.ru/media/news/kompozitnye-preimushchestva/#start>
4. Composites in aircraft engineering [Electronic resource]. Appropedia. URL: https://www.appropedia.org/Composites_in_the_Aircraft_Industry/ru
5. Gladunova O. Prospects for the use of composites in aircraft structures // Proceedings of VIAM. 2023. January 12. URL: <https://compositeworld.ru/articles/app/id63bfb422fb445b0019831c33>
6. Slavin A.V., Donetsk K.I., Khrulkov A.V. Prospects for the use of polymer composite materials in aircraft structures in 2025–2035: Review // Proceedings of VIAM. 2022 No. 11 (117). URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1942
7. Aircraft industry. Lightweight and durable power elements of aircraft [Electronic resource]. UMATEX. Rosatom. URL: <https://umatex.com/applications/aircraft/>
7. Basharov E.A., Vagin A.Yu. Analysis of the use of composite materials in the design of helicopter airframes // Proceedings of MAI. Issue. 92. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/>
8. Vagin A.Yu., Golovin V.V. Composites in frame structures // Helicopter. 1998. No. 4. Pp. 12–15.
9. Mikheev S.V. Applied mechanics in helicopter construction. Moscow: Alteks, 2003. 264 p.: ill.



УДК 658.5

Методика управления системой поддержания пластового давления с учетом трещин автоматического гидравлического разрыва пласта

Р.Р. Копейкин

аспирант направления 2.5.22 Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого; руководитель направления группы компаний «Газпромнефть»
e-mail: kop.r_r@mail.ru

Д.К. Дмитрачков

инженер Новосибирского государственного университета (НГУ)
e-mail: d.dmitrachkov@g.nsu.ru

С.А. Калинин

канд. техн. наук, эксперт группы компаний «Газпромнефть»
e-mail: kalinin.sa@gazprom-neft.ru

Р.Ф. Абдуллин

мл. науч. сотр. Новосибирского государственного университета (НГУ); мл. науч. сотр. Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
e-mail: afaritovich@mail.ru

А.Н. Сибин

канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. Новосибирского государственного университета (НГУ); науч. сотр. Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
e-mail: sibir_anton@mail.ru

А.Н. Байкин

канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. Новосибирского государственного университета (НГУ); ст. науч. сотр. Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
e-mail: alexey.baykin@gmail.com

С.В. Головин

д-р физ.-мат. наук, директор центра Новосибирского государственного университета (НГУ); гл. науч. сотр. Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева
e-mail: s.golovin@g.nsu.ru

В.А. Левенцов

канд. экон. наук, доцент Высшей школы передовых цифровых технологий Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
e-mail: vlevensov@spbstu.ru

М.М. Хасанов

д-р техн. наук, директор по науке группы компаний «Газпром нефть»
e-mail: khasanov.MM@gazprom-neft.ru

Аннотация. В процессе работы системы поддержания пластового давления (ППД) на месторождении производится закачка жидкости в пласт через нагнетательные скважины для последующего вытеснения нефти и поддержания энергетики пласта, что приводит к повышению нефтедобычи на добывающих скважинах. При этом известно, что при достижении критического давления инициации гидроразрыва пласта образуется и начинает развиваться трещина автоматического гидравлического разрыва пласта (АГРП), она может расти как в вертикальном, так и горизонтальном направлении. Необходимо учитывать данное явление, так как оно может приводить к положительным и отрицательным последствиям. В работе предложена методика управления системой ППД с учетом АГРП, основанная на применении интегрированной модели (ИМ) и проведении специальной программы исследований, направленной на изучение явления



АГРП и получения параметров пласта и скважины для повышения качества прогнозных расчетов в результате улучшения показателей адекватности модели. ИМ состоит из модели пласта, позволяющей моделировать рост трещин АГРП, и поверхностной сети. Предложенная методика может быть использована для повышения эффективности процесса ППД вследствие определения оптимального режима работы скважин ППД и соседних с ней добывающих, находящихся на одном участке моделирования.

Ключевые слова: система заводнения, трещина АГРП, давление разрыва породы, поддержание пластового давления, нагнетательная скважина, управление системой заводнения, исследование скважин.

Summary. During the operation of the reservoir pressure maintenance system at the field, fluid is injected into the formation through injection wells for subsequent displacement of oil and maintenance of the formation energy, which leads to an increase in oil production at producing wells. It is known that when the critical pressure of formation hydraulic fracturing initiation is reached, a self-induced crack is formed and begins to develop; it can grow both vertically and horizontally. It is necessary to take this phenomenon into account, since it can lead to positive and negative consequences. The paper proposes management algorithm of the flood pattern taking into account self-induced hydraulic fractures, based on the use of an integrated model (IM) and a special research program aimed at studying the man-made crack phenomenon and obtaining formation and well parameters to improve the quality of forecast calculations as a result of improving the adequacy indicators of the model. IM consists of formation models that allow simulating the growth of hydraulic cracks, and a surface network. The proposed way can be used to increase the efficiency of the reservoir pressure maintenance process by determining the optimal operating mode of reservoir pressure maintenance wells and adjacent production wells located in the same modeling area.

Keywords: flood pattern, self-induced hydraulic fracture, rock fracturing pressure, reservoir pressure maintenance, injection well, management of flood pattern, research of wells.

Введение

В настоящий момент актуальной является задача добычи трудноизвлекаемых запасов нефти, в частности запасов, которые содержатся в низкопроницаемых коллекторах. В связи с этим

остро стоит вопрос о необходимости повышения коэффициента извлечения нефти в них. До сих пор основным методом увеличения нефтеотдачи пластов является заводнение (то есть закачка воды в нефтяной пласт) [1]. Этот метод применяется для поддержания пластового давления на большинстве нефтегазовых месторождений. Для низкопроницаемых коллекторов технологический процесс поддержания пластового давления (ППД) за счет нагнетания жидкости в пласт сопряжен с рядом проблем: непроизводительная закачка в выше- и нижележащие пласты, падение приемистости скважин ППД, преждевременное обводнение добывающих скважин, аномально высокое пластовое давление в неразбуренных зонах, а также в транзитных слоях, пройденных скважиной, и т.д. Одной из причин появления вышеперечисленных проблем является развитие автоматических трещин гидравлического разрыва пласта (АГРП) – самопроизвольно развивающихся техногенных трещин, возникающих при превышении давления закачки агента вытеснения над давлением разрыва породы [2]. Под АГРП подразумевается нарушение сплошности породы за счет раскрытия существующей или образования новой высокопроницающей трещины, которая не закреплена проппантом (в отличие от трещины, создаваемой с помощью широко распространенной технологии гидроразрыва пласта (ГРП) [3]).

Проблема контроля и управления развитием техногенных трещин и их влияния на разработку нефтегазовых месторождений является предметом длительных исследований как отечественных (Феткович, Байков, Давлетбаев, Салимов, Кремнеций, Ипатов, Хасанов, Головин и др.), так и зарубежных ученых (Экономидес, Сеттари, Хагорт, Кенинг, Картер, Эрлагер, Грингартен, Нолт, Шарма, Холл и др.). Несмотря на значительный объем накопленных знаний, отсутствует универсальный и комплексный подход по управлению системой заводнения при разработке месторождений нефти и газа.

Целью данной работы является создание методики управления системой ППД с учетом трещин АГРП.

Описание интегрированной модели

Из-за ограниченного доступа человека в скважину регулирование и контроль разработки месторождения в основном осуществляется с поверхности. Поэтому для создания методики оптимизации системы ППД с учетом АГРП, то есть управления нагнетательными скважинами, важно рассматривать всю систему в целом. Это

означает, что помимо гидрогеомеханической модели пласта, которая будет отвечать на вопрос динамики роста трещины АГРП и материальный баланс объекта разработки, необходимо иметь модель поверхностной сети, описывающей систему сбора и транспорта (ССиТ), систему ППД и скважины.

Модель пласта представляет собой двухфазную (нефть и вода) гидрогеомеханическую двумерную модель, позволяющую моделировать в том числе и динамику развития трещин АГРП (рост, смыкание). Отличительной особенностью этой модели от обычной гидродинамической является учет пороупругой составляющей, которая оказывает существенное влияние на динамику и момент инициации трещины АГРП [4].

Модель поверхностной сети представляет собой одномерную физико-математическую модель, позволяющую описывать параметры течения многофазного потока смеси в системе наземных сооружений актива (ССиТ и система ППД) и скважинах на основании параметров, характеризующих их состояние. Скважина рассматривается как продолжение поверхностной сети, так как функции, используемые в ИМ и описывающие течения многофазного потока для трубопроводов и скважины, идентичны. Система сбора и транспорта начинается с отверстий перфорации или порта ГРП скважины, она может состоять из самой добывающей скважины, имеющей погружное оборудование, например электроцентробежный насос, штуцеров, автоматизированной групповой замерной установки (АГЗУ), сепараторов, дожимной насосной станции (ДНС), установки подготовки нефти (УПН), трубопроводов, связывающих перечисленные объекты сети, и т.д. Система ППД может состоять по меньшей мере из одной водозаборной скважины с ЭЦН, кустовой насосной станции (КНС), блока гребенок (БГ), штуцера, нагнетательной скважины с перфорациями или портами ГРП, трубопроводов, связывающих перечисленные объекты, и т.д.

В ИМ обеспечена возможность объединить двумерную двухфазную гидрогеомеханическую модель пласта, учитывающую рост АГРП, с моделью поверхностной сети. Взаимосвязь моделей ИМ можно представить в виде системы уравнений, описывающей модель пласта, соотношения, отвечающие за поверхностную инфраструктуру и скважины. Такая система уравнений связывает между собой ячейки модели пласта с перфорациями всех соединенных в сеть скважин. Единая система уравнений для интегрированной модели «пласт – поверхностная сеть» имеет вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \nabla \cdot (\lambda \operatorname{tr}(\nabla u) \mathbf{I} + G(\nabla u + \nabla u^T) - \alpha p \mathbf{I}) + f &= 0, \\ \phi_0 c_i \frac{\partial p}{\partial t} &= \operatorname{div} \left(\left(\frac{k k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k k_{ro}}{\mu_o} \right) \nabla p - \frac{\alpha \partial u}{\partial t} \right), \\ \frac{\phi \partial S_i}{\partial t} + S_i \left(\frac{K}{(1-\alpha)(\alpha-\phi_0)} + C_i \phi_0 \right) \frac{\partial p}{\partial t} &= \operatorname{div} \left(\frac{k k_{ri}}{\mu_i} \nabla p \right) - S_i \operatorname{div} \left(\alpha \frac{\partial u}{\partial t} \right), \\ S_w + S_o &= 1, \\ p_j^{\text{in}}(l) &= p_j^{\text{out}}(l) + F(p_j^{\text{out}}(l), p_j^{\text{in}}(l), \operatorname{params}(l)), \\ \sum_{j \in \operatorname{Links}(l)} q_{i,j}(l) &= 0, \end{aligned} \right.$$

где λ , G – параметры Ламе, α – коэффициент Био, $f = [(1-\phi)p_s + \phi p_f]g$, p_f – плотность жидкости в порах коллектора, p_s – плотность скелета породы, g – плотность силы тяжести, ϕ – пористость породы, $g = (0, 0, -g)^T$ – гравитационное ускорение, ϕ_0 – начальная пористость, c_i – полная сжимаемость, k – абсолютная проницаемость породы, k_{rw} и k_{ro} – относительная фазовая проницаемость воды и нефти соответственно, μ_w и μ_o – вязкость воды и нефти соответственно, S_i – насыщенность i -й фазы, c_i – сжи-

маемость i -й фазы, $K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$ – объемный модуль упругости скелета, $p_j^{\text{in}}(l)$, $p_j^{\text{out}}(l)$ – давления на входном и выходном соединениях с индексами j объекта l , $q_{(i,j)}(l)$ – дебит фазы i на соединениях с индексами j объекта l , F – функция, определяющая поведения объекта l , $\operatorname{params}(l)$ – набор параметров, описывающих объект l (например, диаметр, длина и т.д.), $\operatorname{Links}(l)$ – набор связей объекта l .

Первые два уравнения системы представляют собой уравнения пороупругости Био, а именно уравнение равновесия и уравнение фильтрации в горной породе. Следующие уравнения представляют собой уравнения переноса для каждой фазы, а также условие, что сумма насыщенностей равняется единице. Остальные уравнения описывают течение жидкости по поверхностной сети и скважине, а их конкретный вид зависит от конкретных объектов инфраструктуры (штуцер, ЭЦН, КНС, ДНС и т.д.).

На рис. 1 представлена схема интегрированной модели, которая может быть использована для создания методики управления системой ППД с учетом АГРП. Как нами указано, ИМ позволяет наиболее полно описывать технологические процессы и методы разработки месторождения на всех стадиях его жизненного цикла и представляет собой связку из двух моделей: модель пласта и модель поверхностной сети, включающую модель скважины.

Описание методики

На основании принципов регулирования и контроля системы разработки месторождений [5, 6], вышеописанной ИМ, специальной программы ис-

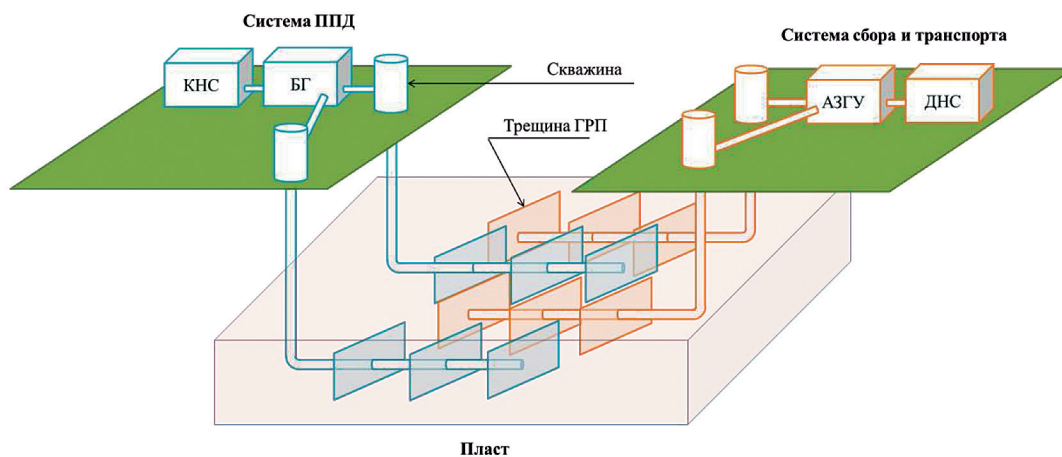


Рисунок 1. Схема интегрированной модели

следований, направленной на изучение параметров АГРП и снятие ключевых неопределенностей [7], использования полученных результатов для донстройки модели [8], была создана методика управления системой ППД с учетом АГРП. Она отличается от ранее созданных алгоритмов, способов, методов возможностью моделирования геометрии самопроизвольно развивающихся трещин ГРП в контексте рассмотрения всех влияющих факторов системы в целом (пласт и инфраструктура) и проведением программы исследований для получения параметров, необходимых для адаптации инициации и динамики роста трещин АГРП [9–11].

На рис. 2 представлена блок-схема этапов разработанного алгоритма.

На первом шаге происходит сбор исходных данных, необходимых для формирования и адаптации ИМ. Входные данные могут включать в себя:

- Геологические параметры (карты глубин кровли, мощности пластов и т.д.),
- Гидродинамические параметры (распределения пористости, абсолютной проницаемости, относительных фазовых проницаемостей и т.д.),
- Геомеханические параметры (модули Юнга, Пуассона, коэффициент Био, значения минимального и максимального горизонтальных напряжений, действующих на удалении от рассматриваемого сектора и т.д.), характеризующие напряженно-деформированное состояние пластов по латерали и вертикали, которые вскрывает скважина,
- Свойства флюидов, характеризующие физические свойства текучей среды в диапазоне давлений и температур окружающей среды (объемный коэффициент, вязкость и т.д.),

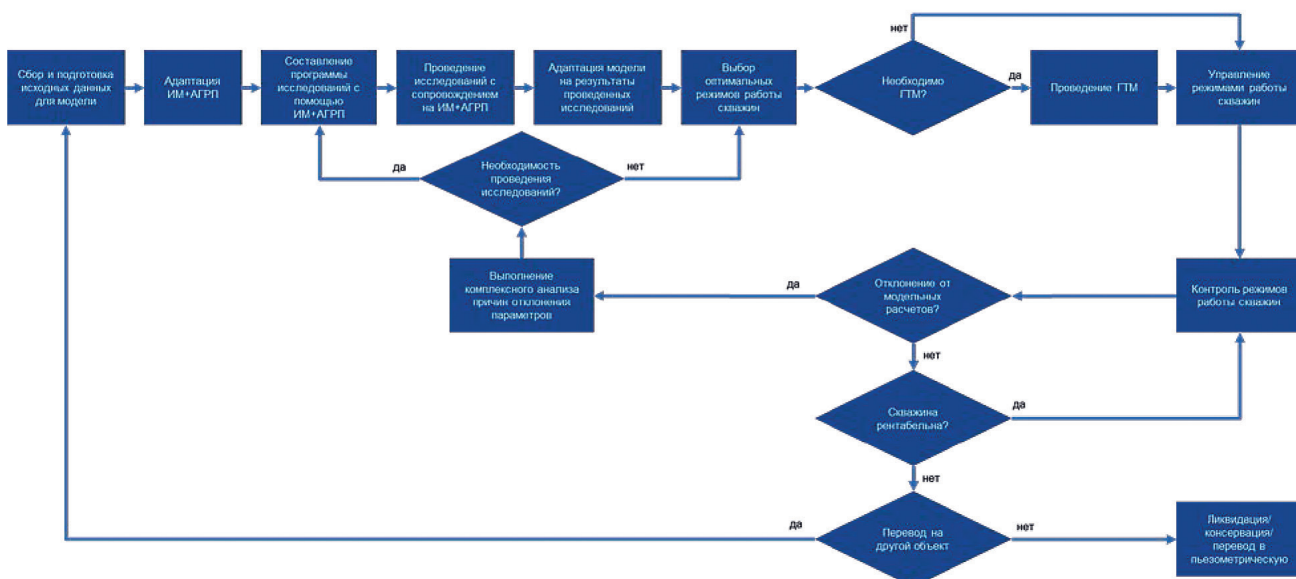


Рисунок 2. Методика управления системой поддержания пластового давления с учетом АГРП

- История работы скважин моделируемого участка (добывающих, пьезометрических, ППД и т.д.) и объектов инфраструктуры, завязанных на них (КНС, ДНС, БГ, АГЗУ и т.д.): расходы флюидов, давления, частоты насосов, диаметры штуцеров, проводимые геолого-технические мероприятия (ГТМ) и т.д.,

- Результаты проведенных исследований, частично отраженных в пп. 1–4 и необходимых для проверки и определения диапазонов неопределенности различных параметров: гидродинамические (ГДИС), промыслово-геофизические (ПГИ), геофизические исследования скважин (ГИС), лабораторные исследования керн и т.д.,

- Параметры конструкции скважин, трубопроводов, характеристики оборудования поверхностной сети, описывающих их работу (например, напорно-расходная характеристика электроцентробежного насоса), и т.д.

Далее исходные данные могут подвергать обработке, которая заключается в анализе, проверке, преобразовании в необходимый формат, которые вносят в ИМ, представляющую собой связку моделей пласта и поверхностной сети.

Процесс адаптации ИМ на данные с замерных устройств (датчиков давлений и расходов, расположенных на узлах учета поверхностной сети: устье скважины, БГ, АГЗУ и т.д.) осуществляется так, чтобы исторические параметры сходились в пределах допустимой погрешности с получаемыми в модели их расчетными значениями [12].

В результате адаптации получают набор данных о месторождении, которые позволяют сформировать комплексную картину о том или ином участке месторождения, с учетом выделения ключевых неопределенностей (т.е. данных, которые отсутствуют или не являются достаточно достоверными). Особое внимание уделяется скважинам, на которых диагностировалось образование трещин АГРП (с помощью гидродинамических исследований (ИК, КПД) или косвенных признаков наличия АГРП (опережающее обводнение добывающих скважин, высокое забойное давление в остановленной скважине, расположенной по вероятному направлению роста трещины АГРП, и т.д.). Так как в дальнейшем геомеханические параметры (модуль Юнга, Пуассона, коэффициент Био, минимальное горизонтальное напряжение, направление максимального горизонтального стресса, вдоль которого в большинстве случаев растут трещины), с помощью которых удалось добиться наилучшей сходимости кривых давлений и расходов флюидов, будут использованы в прогнозных расчетах для составления программы исследований для снятия ключевых неопределенностей моделируемого участка.

Также может использоваться формула Итона для предварительной оценки минимальных горизонтальных напряжений [13]:

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu}(p_r g h - \alpha P) + \alpha P$$

где ν – коэффициент Пуассона, ρ_r – средняя плотность вышележащей породы с содержащейся в ней флюидом, g – ускорение свободного падения, h – глубина пласта, α – коэффициент Био, P – поровое давление.

Опционально ее можно настроить на корреляцию давления закрытия от пластового давления, полученной из данных проведенных ГРП на добывающих скважинах [9]. Также для оценки минимальных горизонтальных напряжений при наличии может использоваться геомеханическая модель месторождения. Необходимо отметить, что оценка минимальных горизонтальных напряжений производится как в целевом пласте, так и выше-, нижележащих пластах, для ограничения работы скважины ППД в будущем с целью недопущения прорыва подошвы и (или) покрышки коллектора. Для успешной настройки модели также может потребоваться произвести оценку величины обратного напряжения, так называемого бэкстресса (разницы между давлением разрыва и минимальным горизонтальным напряжением) [14], с помощью выделения корреляции по индикаторным диаграммам (метод ГДИ, основанный на пошаговом изменении режимов работы скважин и фиксация забойного давления, расхода на скважине [8]) и данным с ГРП [9].

После адаптации с помощью ИМ составляет программа исследований, которые направлены на уточнение параметров, позволяющих снять неопределенности пласта и скважины (например, проницаемость, скин-фактор, геометрия трещины ГРП/АГРП, пластовое давление, объем заколонной циркуляции (ЗКЦ) в нецелевые пласты) и доадаптировать модель на основании этих параметров, то есть повысить сходимость результатов ИМ и замеров, фактически получаемых на месторождении (например, давление, расходы, обводненность (которая определяется по расходам флюидов), а также прогнозную способность, особенно, в отношении момента образования и динамики роста трещины АГРП.

Под программой исследований подразумеваются последовательность и продолжительность гидродинамических и промыслово-геофизических исследований, не ограничиваясь перечисленными. Обычно программа состоит из последовательно сменяемых режимов работы скважины при различных технологических условиях с регистрацией физических величин (давление, расход, температура и т.д.).



Пример предлагаемой последовательности исследований с комментариями к ним приведен далее.

Алгоритм проведения последнего в программе ПГИ с использованием термометрии может быть следующим:

Таблица 1. Программа исследований для изучения явления АГРП

Время, сут	Исследование	Комментарий
30	Работа на стабильном режиме	Обычно используется для недавно переведенных в ППД скважин, для формирования устойчивой воронки репрессии, необходимой для получения информативных результатов последующих исследований
7	Исследование методом КПД (кривая падения давления) – скважина ППД остановлена, идет восстановление забойного давления до пластового давления	Получение полудлины трещины АГРП/ГРП на предшествующем режиме, а также значения пластового давления, скин-фактора, гидропроводности и информации об интерференции соседних скважин
3	ПГИ на режиме, который был перед КПД (комплекс геофизических исследований, проводимых в добывающих и нагнетательных скважинах для изучения пород и получения информации о состоянии скважины (гамма-каротаж, дефектоскопия, резистивиметрия, барометрия, термометрия, влагометрия, индикаторы притока, шумометрия и др.))	Проводится после КПД, так как важен фоновый замер для определения скорости релаксации температурного поля после кратковременного включения скважины. Проводится для определения работающих интервалов, вскрытых скважиной, соотношения их работы, наличия ЗКЦ, АГРП
7	Излив – это, по существу, открытие скважины ППД на разрядку с целью сброса избыточного давления	Выполняется в скважинах, у которых высокое пластовое давление из-за длительной закачки агента вытеснения, служит дополнительной точкой на ИК
7	Исследование методом КВД (кривая восстановления давления) – проводится после излива, идет восстановление забойного давления до пластового давления	Определяется полудлина закрепленной трещины ГРП, гидропроводность в условиях закрытой трещины АГРП, скин-фактор (возможно снижение после излива из-за очищения ствола скважины). Дополнительно: пластовое давление.
9	Исследование методом индикаторной кривой (Обратный ход) ступенчатое изменение работы скважины ППД с режима работы до старта исследований до минимального режима работы	Необходимо для получения дополнительных точек на ИК и записи КВД после минимального режима работы скважины
7	Исследование методом КПД (кривая падения давления) – скважина ППД остановлена, идет восстановление забойного давления до пластового давления	Определение полудлины трещины ГРП/АГРП и гидропроводности на минимальном режиме работы скважины. Дополнительно: скин-фактор, пластовое давление.
9	Исследование методом индикаторной кривой (Прямой ход) – ступенчатое изменение работы скважины ППД с минимального режима работы до режима работы, предусмотренного программой исследований	Получение точек на ИК до давления разрыва породы (минимум 3 шт), создание давления выше давления разрыва породы
6	Исследование методом КПД в середине прямого хода	Определение полудлины трещины АГРП (промежуточная полудлина, для регистрации динамики роста, необходимого для настройки модели), гидропроводности (увеличивается в случае приобщения нецелевых пластов) и/или интервалов, не вскрытых трещиной ГРП
6	Прямой ход. Продолжение	Наращивание трещины АГРП, получение минимум 3 точек после давления разрыва
6	Исследование методом КПД	Определение полудлины трещины АГРП (промежуточная полудлина, для регистрации динамики роста, необходимого для настройки модели), гидропроводности (увеличивается в случае приобщения нецелевых пластов) и/или интервалов, не вскрытых трещиной ГРП

Время, сут	Исследование	Комментарий
4	Максимальный режим работы скважины, в котором штуцер не применяется в принципе (или же максимальный режим согласно программе исследований)	Создание максимально возможного режима закачки агента вытеснения с целью наращивания трещины АГРП
7	Исследование методом КПД	Определение геометрии трещины АГРП (полудлины трещины), гидропроводности на максимально возможном режиме работы скважины для оценки направления роста трещины (вертикальное и/или горизонтальное направление)
3	ПГИ на минимальном и максимальном режимах работы скважины	Для подтверждения геометрии трещины АГРП (высота)

- записать фоновую температурную кривую после КПД;

- запустить скважину на минимальном режиме, где нет раскрытия трещины АГРП, выйти на стабильный режим, записать температурную кривую в динамике.

- остановить скважину, записать расформирование теплового поля: сразу, через 1, 3, 6 часов.

- запустить скважину на режиме с раскрытием трещины АГРП, выйти на стабильный режим, записать температурную кривую в динамике.

- остановить скважину, записать расформирование теплового поля: сразу, через 1, 3, 6 часов.

В процессе проведения исследований получаемые промежуточные результаты в виде параметров вносят в ИМ, с корректировкой при необходимости программы исследований. Например, может быть уточнена длительность исследования методом КПД с помощью промежуточного подъема датчика для уточнения интерференции скважин.

Предложенная программа исследований (табл. 1) может быть сокращена как в отношении используемых видов исследований, так и по времени их проведения. Это зависит от каждого конкретного случая: скважины-кандидата и ее окружения, наличия результатов ранее проведенных исследований и т.д. Опционально, можно также исследовать и добывающие скважины с помощью соответствующих исследований (например, гидропрослушивание, термометрия и т.д.) с целью снятия ключевых неопределенностей.

После в ИМ определяют оптимальный режим работы скважин ППД (опционально, всех скважин, входящих в моделируемый участок, в том числе и добывающих) при условии максимизации накопленной добычи нефти добывающих скважин рассматриваемого участка, то есть получают временной ряд технологических параметров, описывающих оптимальный режим работы объектов сети (частоты насосов на добывающих, водозаборных

скважинах, диаметры штуцеров для нагнетательных и добывающих скважин, режимы КНС и ДНС и т.д.). В частности, при оптимальном режиме работы скважины ППД расчетное забойное давление может превышать давление разрыва целевого пласта, но не должно превышать фактического давления разрыва глин в покрышке и (или) подошве целевого пласта, то есть не должно быть выше давления, при котором слой глины рвется под давлением и начинает пропускать воду в нецелевые интервалы. Этот случай чаще всего применим для продольной системы разработки (горизонтальные скважины пробурены вдоль максимального горизонтального стресса), тогда трещины АГРП, образованные в нагнетательных скважинах ряда ППД, сростаются в магистраль и образуют более протяженный фронт вытеснения нефти [7]. Но может быть реализуем и в поперечной системе в случае, если трещина АГРП вырастает до определенной полудлины и останавливается в своем развитии из-за попадания в равновесное состояние в результате сложившихся сил, действующих на трещину АГРП, что не приводит к преждевременному обводнению добывающих скважин, расположенных по направлению роста трещины АГРП, а наоборот увеличивает дебиты нефти на соседних добывающих скважинах [9]. В других случаях, например, когда любой рост трещины негативно влияет на соседние скважины, или когда давление АГРП равно давлению разрыва глин, рост трещины АГРП может приводить к негативным последствиям, поэтому оптимальный режим работы должен создавать забойное давление в скважине ППД, не превышающее давление разрыва породы [10]. Выбор оптимального режима зависит от каждого конкретного рассматриваемого случая, но можно выделить несколько ключевых параметров оказывающих сильное влияние на начало инициации и рост трещины АГРП и, соответственно, необходимых для адаптации модели: пластовое давление, проницаемость,



коэффициент Био, направление и значения минимальных горизонтальных напряжений, задаваемых в качестве начальных условий на границе моделируемого участка, проводимость и длина трещины ГРП, расположение и режимы работы скважин окружения.

После определения оптимального режима работы скважины при необходимости могут быть предусмотрены геолого-технические мероприятия, такие как ремонтно-изоляционные работы (РИР), гидроразрыв пласта (ГРП), соляно-кислотная обработка (СКО), выравнивание профиля приемистости (ВПП) скважины, бурение боковых стволов и т.д., с целью прироста дебита нефти, увеличения коэффициента приемистости нагнетательной скважины, сокращения нецелевой закачки и т.д. ГТМ представляет собой комплекс мероприятий, проводимый в скважинах для оптимизации разработки месторождения, поддержания проектных уровней добычи углеводородного сырья и (или) интенсификации добычи с целью увеличения коэффициентов извлечения углеводородов.

На основании выбранного в ИМ оптимального режима работы выставляют режимы работы самой скважины ППД и, опционально, всех скважин, входящих в сектор моделирования. В частности, например, регулируют размер диаметра штуцера, а также могут устанавливать штуцер, давление на входе кустовой насосной станции. Также, в случае выставления режима работы нескольких скважин ППД, в качестве оптимального режима может быть подобрана очередность и цикличность их работы [15], отключение некоторых из них. Опционально, также могут быть выставлены режимы работы добывающих скважин, например, путем изменения частоты вращения ЭЦН, диаметров штуцера скважины, штуцера на входе и давления на выходе дожимной насосной станции, не ограничиваясь приведенными технологическими параметрами объектами поверхностной сети.

После выставления оптимального режима работы скважины ППД осуществляют мониторинг режимов на соседних добывающих скважинах и на скважине ППД, то есть сравнивают параметры, описывающие оптимальный режим работы (давление, расходы) с фактическими параметрами, полученным на месторождении.

В случае совпадения определенного в ИМ и фактического режимов работы скважины в рамках допустимой погрешности, мониторинг параметров продолжается, а в случае несовпадения – выполняется комплексный анализ причин отклонения параметров, и, опционально, при необходимости проводятся дополнительные исследования, позволяющие выявить причины несоответствий. Далее

ИМ уточняют описанным выше способом и корректируют оптимальный режим работы скважин.

Комплексный анализ может выполняться не только с помощью ИМ с учетом АГРП, но и других методик, применяемых в нефтегазовой сфере (графики Холла [16], Чена, Спирмена и т.д.), которые помогут диагностировать причины отклонения фактических замеров от расчетных параметров.

Также на каждой итерации цикла (см. рис. 2) выполняется проверка рентабельности дальнейшей эксплуатации скважин, в случае необходимости производится перевод скважины в пьезометрическую, на другой объект, в консервацию или даже ее ликвидация, не ограничиваясь вышеизложенными мероприятиями.

Заключение

Задачей разработанной методики является повышение качества управления процессом ППД с учетом АГРП. Алгоритм позволяет оптимизировать систему поддержания ППД с помощью интегрированной модели, учитывающей динамику развития трещин АГРП, и проведения программы исследований для настройки предложенной модели.

ИМ представляет собой модель, состоящую из связанных между собой моделей-компонентов с едиными начальными и граничными условиями, описывающих поведение конкретных производственных объектов месторождения. Она позволяет наиболее полно описывать технологические процессы и методы разработки месторождения на всех стадиях жизненного цикла и состоит из модели пласта и модели поверхностной сети, включающей также модель скважины.

Методика управления системой ППД позволяет не только рассчитать оптимальные режимы работы объектов сети, в том числе скважин, с учетом явления АГРП, которое может приводить как к негативным, так и положительным последствиям, но и обеспечить контроль и управление разработкой участка залежи или всего месторождения согласно выбранным режимам работы.

Таким образом, при организации производственного процесса поддержания пластового давления на нефтегазодобывающем предприятии, который в большинстве случаев сопровождается появлением трещин АГРП, негативно влияющих на производственные показатели, рекомендуется использовать разработанный алгоритм управления системой заводнения. Он позволит не только максимизировать добычу углеводородов, но и минимизировать риски отрицательных последствий с помощью контроля и управления самопроизвольно развивающимися трещинами ГРП.

Источники

1. Справочник инженера-нефтяника. Т. V(A). Инжиниринг резервуаров / Глав. ред. Ларри Лейк. Серия: Нефтегазовый инжиниринг. (Ориг. издание: Society of Petroleum Engineers, 2007 / Под ред. С.О. Бороздина; Пер. с англ.). М. – Ижевск: ИКИ, 2017. 1230 с.
2. Калинин С.А., Байкин А.Н., Абдуллин Р.Ф., Старовойтова Б.Н., Базыров И.Ш., Копейкин Р.Р., Головин С.В., Кичигин Е.Н. Анализ слияния трещин автоГРП в рядной системе разработки с помощью математического моделирования // Нефтяное хозяйство. 2022. № 12. С. 40–45.
3. Астафьев В.Н. Развитие технологий гидро-разрыва пласта в современных условиях // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2024. № 2(58). С. 100–109 (по материалам II Технологического форума «Технологии ГРП», г. Новосибирск, 2023 г., 20, 21 ноября).
4. Сибин А.Н., Копейкин Р.Р. и др. Использование адаптивных сеток для моделирования распространения трещины авто-ГРП: Сб. IX Всероссийской конференции «Теплофизика и физическая гидродинамика» (ТФГ2024), 8–15 сентября 2024 г., г. Сочи. С. 61.
5. Satter. A., Ganesh C. Thakur. Integrated petroleum reservoir management: a team approach. 1994, 335 p.
6. Кременецкий М.И., Ипатов А.И. Применение промыслово-геофизического контроля для оптимизации разработки месторождений нефти и газа. Т. 2. Роль гидродинамико-геофизического мониторинга в управлении разработкой. М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2020. 756 с.
7. Копейкин Р.Р., Абдуллин Р.Ф., Калинин С.А., Старовойтова Б.Н., Байкин А.Н., Головин С.В. Моделирование гидродинамических исследований скважин с учетом автоГРП в рядной системе разработки // Нефтяное хозяйство. 2023. № 12. С. 30–35.
8. Кременецкий М.И., Ипатов А.И., Гуляев Д.Н. Информационное обеспечение и технологии гидродинамического моделирования нефтяных и газовых залежей. М. – Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. 896 с.
9. Базыров И.Ш. Контроль и регулирование роста техногенных трещин при вытеснении нефти из низкопроницаемых коллекторов: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.17: защищена 22.06.2021. СПб., 2021. 112 с.
10. Patent N US7248969B2 USA, Waterflood control system for maximizing total oil recovery: US 2006/0122777 A1: prior publication data Jun. 8, 2006: date of patent Jul. 24, 2007/ Tadeusz Wiktor Patzek, Oakland, CA (US). 62 p.
11. Patent N CN109973068B China, Method and device for identifying oil reservoir water injection induced cracks: CN201910163640A: prior publication data Mar. 5, 2019: date of patent Oct. 9, 2020/ Zeng Lianbo, Dong Shaoqun, Zhao Xiangyuan, Lv Wenya. 18 p.
12. Временный регламент оценки качества и приемки трехмерных цифровых геолого-гидродинамических моделей, представляемых пользователями недр в составе технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья на рассмотрение ЦКР Роснедр по УВС» (утв. Протоколом от 19 апреля 2012 г. № 5370 ЦКР Роснедра по УВС).
13. Зобак М.Д. Геомеханика нефтяных залежей. Серия: Нефтегазовый инжиниринг (Оригинальное издание: Cambridge University Press, 2007, перевод с англ.). М. – Ижевск: ИКИ, 2018. 480 с.
14. Dontsov E. 2021b. An efficient computation of leak-off induced poroelastic stress for a hydraulic fracture. J. Mech. Phys. Solids 147, 1–18, 104246.
15. Патент № 2558093 Российская Федерация, МПК E21B 43/20 (2006.01). Способ регулирования разработки нефтяной залежи: № 2014127420/03: заявл. 04.07.2014: опубл. 27.07.2015 / Бакиров И.М., Насыбуллин А.В. и др. 12 с.
16. Dalimunthe Y. & Hanifah A. & Setiati R. Application hall plot method for surveillance waterflood in oil reservoir. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1402. 055104. 10.1088/1742-6596/1402/5/055104.



References

1. Handbook of a petroleum engineer. T. V(A). Reservoir Engineering Fundamentals / Edited by Larry Lake. Series: Oil and gas engineering. (Orig. edition: Society of Petroleum Engineers, 2007. S.O. Borozdina; Translated from English). M. – Izhevsk: IKI, 2017. 1230 p.
2. Kalinin S.A., Baikin A.N., Abdullin R.F., Starovoitova B.N., Bazyrov I.Sh., Kopeikin R.R., Golovin S.V., Kichigin E.N. Analysis of fracture fusion of automatic hydraulic fracturing in an in-line development system using mathematical modeling // Oil Industry. 2022. № 12. PP. 40–45.
3. Astafyev V.N. Development of hydraulic fracturing technologies in modern conditions // Geology and mineral resources of Siberia. 2024. № 2(58). P. 100–109 (based on the materials of the II Technological forum "Hydraulic Fracturing Technologies", Novosibirsk, November 20, 21, 2023).
4. Sibin A.N., Kopeikin R.R., et al. Using adaptive grids to simulate the propagation of self-induced hydraulic fracturing: Collection of IX All-Russian Conference "Thermal Physics and Physical Hydrodynamics" (TFG2024), September 8–15, 2024, Sochi. P. 61.
5. Satter. A., Ganesh C. Thakur. Integrated petroleum reservoir management: a team approach. 1994, 335 p.
6. Kremenetsky M.I., Ipatov A.I. Application of field geophysical control to optimize the development of oil and gas fields. V. 2. The role of hydrodynamic and geophysical monitoring in development management. M. – Izhevsk: Institute for Computer Research, 2020. 756 p.
7. Kopeikin R.R., Abdullin R.F., Kalinin S.A., Starovoitova B.N., Baikin A.N., Golovin S.V. Modeling of hydrodynamic studies of wells taking into account automatic hydraulic fracturing in a row development system // Oil Industry. 2023. No. 12 PP. 30–35.
8. Kremenetsky M.I., Ipatov A.I., Gulyaev D.N. Information Support and Technologies of Hydrodynamic Modeling of Oil and Gas Deposits. Moscow-Izhevsk: Izhevsk Institute of Computer Research, 2011. 896 p.
9. Bazyrov I.Sh. Control and regulation of the growth of technogenic cracks in the displacement of oil from low-permeability reservoirs: thesis of Cand. Tech. Sciences: 25.00.17: defended on 22.06.2021. St. Petersburg, 2021. 112 p.
10. Patent N US7248969B2 USA, Waterflood control system for maximizing total oil recovery: US 2006/0122777 A1: prior publication data Jun. 8, 2006: date of patent Jul. 24, 2007/ Tadeusz Wiktor Patzek, Oakland, CA (US). 62 p.
11. Patent N CN109973068B China, Method and device for identifying oil reservoir water injection induced cracks: CN201910163640A: prior publication data Mar. 5, 2019: date of patent Oct. 9, 2020/ Zeng Lianbo, Dong Shaoqun, Zhao Xiangyuan, Lv Wenya. 18 p.
12. Temporary regulations for quality assessment and acceptance of three-dimensional digital geological and hydrodynamic models submitted by subsoil users as part of technical projects for the development of hydrocarbon fields for consideration by the Central Hydrocarbon Development Center of Rosnedra (approved by the Federal Agency for Hydrocarbons). Minutes of April 19, 2012 No 5370 of the Central Commission for the Development of Federal Subsurface Resources Agency on Hydrocarbon Raw Materials).
13. Zobak M.D. Geomechanics of oil deposits. Series: Oil and Gas Engineering (Original Edition: Cambridge University Press, 2007). M. – Izhevsk: IKI, 2018. 480 p.
14. Dontsov E. 2021b. An efficient computation of leak-off induced poroelastic stress for a hydraulic fracture. J. Mech. Phys. Solids 147, 1–18, 104246.
15. Patent No 2558093 Russian Federation, IPC E21B 43/20 (2006.01). Method of regulating the development of an oil deposit: No 2014127420/03: declared. 04.07.2014: publ. 27.07.2015 / Bakirov I.M., Nasybullin A.V. et al. 12 p.
16. Dalimunthe Y. & Hanifah A. & Setiati R. Application hall plot method for surveillance waterflood in oil reservoir. Journal of Physics: Conference Series. 2019. 1402. 055104. 10.1088/1742-6596/1402/5/055104.



УДК 622.692

Мотивация и цели внедрения отечественных цифровых технологий и стандартов качества на предприятиях нефтегазовой отрасли

П.А. Лончих

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и управления ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» – Институт высоких технологий; г. Иркутск
e-mail: palon@list.ru

А.А. Исупов

магистрант, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»; г. Иркутск
e-mail: artem.isupov.2001@mail.ru

Е.Н. Мальцева

студент, УВП кафедры, ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»; г. Иркутск
e-mail: maltsevaen@list.ru

Аннотация. В статье описываются мотивация и цели внедрения на предприятиях нефтегазовой отрасли преимущественно новых цифровых технологий. Представлены экономические, экологические и нормативные подходы в нефтегазовой промышленности.

Ключевые слова: нефть, газ, нефтегазовая отрасль, отечественное программное обеспечение, цифровые технологии, стандарты, менеджмент, экономика.

Summary. The article describes the motivation and goals of introducing mainly new digital technologies at oil and gas enterprises. Economic, environmental

and regulatory approaches in oil and gas industry are presented.

Keywords: oil, gas, oil and gas industry, domestic software, digital technologies, standards, management, economics.

Введение

Нефтегазовая отрасль претерпевает глобальные изменения под влиянием внешних и внутренних факторов. Внедрение новых подходов, включая переход на отечественное программное обеспечение и цифровые технологии, стало необходимо для роста компаний в этой сфере. Применение устойчивого развития и стандартов ISO 9000, таких как менеджмент качества (ISO 9001:2015) и экологический менеджмент (ISO 14001:2016), позволяет повысить эффективность процессов, обеспечить безопасность производства и снизить воздействие на окружающую среду. Это в свою очередь повышает конкурентоспособность нефтегазовых компаний. Нефтегазовая промышленность продолжает занимать лидирующие позиции в экономике, что способствует появлению новых технологий в добыче и переработке нефти. Поскольку нефть является исчерпаемым ресурсом, важно соблюдать стандарты качества и экологические требования, настраивая производственные процессы под запросы рынка.

Экономическая составляющая.

Стандарты качества как основание обеспечения конкурентоспособности

Нефтегазовая промышленность занимает важное место в российской экономике, составляя более 15% ВВП, с потенциалом роста, а в I квартале 2022 г. этот показатель достиг рекорда в 22% [1–3]. Эксперты и Организация стран – экспортеров нефти (The Organization of the Petroleum Exporting Countries, ОПЕК, ОПЕК) прогнозируют дальнейший рост глобального спроса на нефть, который



к 2025 г. может составить 29 млн баррелей в сутки, что значительно превышает уровень 26,7 млн баррелей в сутки, зафиксированный в 2023 г. [4, 5].

Деятельность в нефтегазовой отрасли поддерживается стандартами экологии и транспортировки. Стандарт ISO 14001 / ГОСТ Р ИСО 14001–2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» обеспечивает минимизацию негативных экологических последствий. Он содержит требования для успешной работы экологического менеджмента [6].

Стандарт ГОСТ Р 518858–2020 «Нефть. Общие технические условия» касается нефти, готовой к транспортировке. Стандарт направлен на безопасность и охрану окружающей среды, включая контроль уровня опасных веществ, управление взрывоопасными смесями и предотвращение загрязнения [7]. Таким образом, соблюдение норм и стандартов необходимо для безопасной деятельности в нефтегазовой сфере.

В условиях санкций Россия ищет новые рынки сбыта нефти, конкурируя с американскими и арабскими компаниями [8, 9]. На *рис. 1* представлены страны-лидеры, производившие нефть в 2023 г. [10].

Для повышения конкурентоспособности необходимо совершенствование технологий добычи и транспортировки, обеспечивающее лучшее качество и более выгодные цены для потребителей. Внедрение стандартов ISO 9000 и использование пяти сил Майкла Портера (анализ угрозы существующих и новых конкурентов, рыночной власти поставщиков и покупателей, угрозы товаров-заменителей) [11] помогут разработать эффективные конкурентные стратегии.

Стандарт ISO 9001:2015 / ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» применим для повышения качества систем менеджмента. Он задает требования, что способствует улучшению процессов в организациях [12]. Также важен для нефтегазовой индустрии стандарт ГОСТ Р ИСО / ТУ 29001–2007 «Менеджмент организации. Требования к системам менеджмента качества организаций, поставляющих продукцию и предоставляющих услуги в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности» [13]. Он устанавливает требования к системам менеджмента качества для нефтегазовых предприятий. Альтернативой является стандарт ISO 29001:2010, разработанный Американским нефтяным институтом (American Petroleum Institute, API), который создает условия для повышения качества менеджмента в секторе. API, существующий с 1919 г., выработал более 700 стандартов, способствующих безопасности и устойчивому развитию в нефтегазовой промышленности [14].

Устойчивое развитие и закачка газа в пласт земли

Устойчивое развитие с учетом ESG-факторов (Environmental, Social and Governance – «Экология, Социальная ответственность, Корпоративное управление») является ключевым приоритетом для нефтяных компаний, включая Иркутскую нефтяную компанию (далее – ИНК, Компания). Группа компаний (далее – ГК) ИНК интегрирует ESG-факторы в свою деятельность. Приверженность лучшим практикам в этой области стала основой ее бизнес-стратегии. В 2022 г. Компания вошла



Рисунок 1. Крупнейшие производители нефти в 2023 г.

в число лидеров первого российского ESG-рейтинга, подтвердив высокий уровень соответствия ESG-стандартам. Работа в направлении устойчивого развития началась в 2008 г. с приходом Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР), который внедрил лучшие мировые практики. Ответственное ведение бизнеса стало неотъемлемой частью корпоративной культуры ГК ИНК, а ее миссия и ценности (безопасность, лидерство, командность, ответственность) отражают эту приверженность. В 2021 г. была принята Политика в области устойчивого развития, определяющая основные направления деятельности [15, с. 29–31].

Важным направлением повышения эффективности и экологической устойчивости в добыче нефти и газа является внедрение технологий, снижающих негативное воздействие на окружающую среду. Особое значение имеет закачка попутного нефтяного газа (далее – ПНГ) обратно в пласт земли, что увеличивает коэффициент извлечения нефти и снижает объемы сжигания газа на факелах, уменьшая вредные выбросы. Такой подход демонстрирует высокую экономическую и экологическую эффективность.

Согласно отчету Всемирного банка, общий объем сжигаемого газа в мире за год увеличился на 9 млрд м³ (7%). В 2022 г. этот показатель составлял 139 млрд м³, а в 2023 г. достиг уже 148 млрд м³. Россия, лидирующая по факельному сжиганию, отметила рост объемов во всех регионах нефтедобычи, несмотря на снижение добычи нефти на 2%. Объемы сжигания увеличились на 2,9 млрд м³ (11%). Авторы исследования связывают данные увеличения с проблемами в состоянии нефтегазовых объектов из-за сложной геополитической обстановки [16]. Компания также активно внедряет цифровые технологии, такие как GP OrgManager (в переводе с англ. «Организационный менеджер»; интеллектуальная система повышения эффективности бизнеса) и робот для анализа данных на Ярактинском нефтегазоконденсатном месторождении (НГКМ) [17, 18]. Инвестиции ГК ИНК в утилизацию ПНГ и энергоэффективность демонстрируют приверженность принципам устойчивого развития, укрепляя конкурентные преимущества и способствуя сохранению экологического баланса.

Реальное состояние и проблемы в отечественном нефтегазодобывающем промысле

Несмотря на высокий уровень развития отечественной нефтегазовой отрасли, она сталкивается с серьезными проблемами. Одной из ключевых является истощение разрабатываемых месторождений и необходимость ввода новых, зачастую

труднодоступных участков. Кроме того, высокая энергоемкость и материалоемкость нефтедобычи, обусловленные устаревшими технологиями и оборудованием, негативно сказываются на себестоимости и рентабельности. Также важной проблемой является высокий уровень износа основных производственных фондов, что создает риски аварий и снижает надежность работы предприятий. Для решения этих проблем необходимы масштабные инвестиции в модернизацию мощностей и внедрение передовых технологий. Важную роль играет совершенствование нормативно-правовой базы, стимулирующей деятельность компаний. Российские нефтегазовые компании отстают от зарубежных конкурентов по уровню технологического развития, что ведет к зависимости от импортного оборудования и технологий, сдерживая развитие отрасли и экономики страны в целом.

Введение санкций и прекращение поставок оборудования для глубоководного бурения и сланцевой добычи закрыли российским нефтегазовым компаниям доступ к дешевым кредитам, что приостановило совместные проекты и привело к выходу зарубежных компаний с арктического шельфа, где использовалось до 90% импортного оборудования. Текущая ситуация выявила зависимость сектора от иностранных технологий, поэтому необходимо перейти от имитации замещения к реальным разработкам и производству оборудования на отечественных предприятиях, избегая технологической зависимости от «недружественных стран» и Китая [19]. При этом доля внутренних расходов на НИОКР в России составляет не более 1% ВВП на протяжении более 30 лет, что не позволяет нашей стране подняться выше 51-го места в рейтинге глобального индекса, показывающего количество нововведений, учитывая, что нефтегазовый комплекс является ключевым донором федерального бюджета и важен для технологического суверенитета России [20]. Отсюда следует, что в настоящее время существенная доля продуктов из «недружественных стран» и высокий уровень параллельного импорта подтверждают технологическую зависимость. Для повышения суверенитета необходимо увеличить финансирование НИОКР в нефтегазовом секторе, что позволит разработать собственные передовые технологии и оборудование, снизив зависимость от импорта [21].

Мотивация внедрения цифровых технологий

Цифровизация и переход на отечественные технологии являются важными инструментами повышения конкурентоспособности нефтегазовых компаний, особенно в условиях повышения резуль-



тативности производства [22]. Начало цифровой трансформации отраслей топливно-энергетического комплекса (далее – ТЭК) создало условия для перехода к Четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0» [23]. Нефтегазовые компании, такие как ГК ИНК, уделяют особое внимание цифровизации и внедрению отечественных технологий, что позволяет им опережать конкурентов. Например, ПАО «Газпром нефть» постоянно совершенствует ИТ-инфраструктуру и выделяет направление «Газпромнефть – Цифровые решения» [24, 25] с инвестициями в НИОКР в 2023 г. в 31,7 млрд руб., а программа развития данной компании расписана до 2025 г. [26]. Компания «Роснефть» планирует к 2025 г. полностью перейти на собственное программное обеспечение (далее – ПО) для разведки и добычи нефти и газа [24, 27]. Однако некоторые предприятия ТЭК сталкиваются с барьерами на пути цифровой трансформации, которые делятся на три основные группы:

- отсутствие интереса к цифровым системам, опасения влияния на финансы;
- недостаточно развитая нормативная правовая база;
- высокая конкурентоспособность при низком уровне внедрения цифровых решений, зависимость от импортных технологий [27].

Крупные предприятия ТЭК развивают отечественное ПО для замены импортного, что стало актуальным после введения санкций с 2014 г. [28]. Нефтегазовые компании активно внедряют цифровые технологии на таких ключевых стадиях производства, как разведка, разработка, проектирование и дистанционное управление. В разведке используются сейсмические методы для точного картографирования продуктивных пластов, включая 4D-сеймику. При разработке применяются технологии контроля скважин и бурения. Внедрение «интеллектуальных систем» стало отличительной чертой разработки месторождений. В проектировании оборудования активно используются BIM-технологии и отечественные решения. Дистанционное управление осуществляется через автоматизированные системы управления процессом.

В качестве примера можно привести производство на Новоуренгойском газохимическом комплексе, где интеграция систем управления по принципам «Индустрия 4.0» увеличила эффективность производства на 20%. Обновление антивирусного ПО снизило количество успешных кибератак на 33%. Однако отрасль остается уязвимой из-за устаревшего ПО, поздних обновлений и фишинга. Важны не только технологические, но и образовательные меры для повышения информационной

культуры сотрудников. Так, тренинги по информационной безопасности в Компании «Газпром нефть» снизили успешные фишинговые атаки на 40% [29].

Для улучшения работы нефтегазовой отрасли предлагаются следующие меры:

- развитие систем удаленного мониторинга на основе отечественного ПО;
- внедрение интеллектуальных систем диагностики с отечественными датчиками;
- создание защищенных систем управления активами на базе блокчейна. Комплексное внедрение этих мер повысит операционную эффективность и укрепит технологическую независимость отрасли.

Закключение

Современная мировая экономика претерпевает трансформации из-за геополитических, технологических и экологических факторов. Российская нефтегазовая отрасль как важный сектор экономики испытывает влияние санкций, цифровой трансформации и энергетического перехода. Несмотря на вызовы, она сохраняет стратегическое значение и получает возможности укрепления позиций на мировом рынке. Адаптация к новым стандартам и технологиям, внедрение отечественного ПО, цифровых технологий и соблюдение международных стандартов качества ISO способствуют повышению эффективности. Устойчивое развитие и ESG-факторы становятся основой стратегий компаний, укрепляя их позиции на международной арене. Инвестиции в НИОКР и цифровизацию важны для конкурентоспособности, однако импортные барьеры и слабая нормативная база тормозят развитие. Сотрудничество отрасли и государства обеспечит устойчивое развитие и приумножит вклад нефтегазового сектора в экономику России.

Источники

1. Росстат впервые рассчитал долю нефти и газа в российском ВВП [Электронный ресурс]. РБК. 2021. 13 июля. URL: <https://www.rbc.ru/economics/13/07/2021/60eс40d39a7947f74aeb2aae>
2. Доля нефтегазового сектора в ВВП РФ в 2023 году [Электронный ресурс]. Коммерсант. 2024. 5 апреля. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6632852>
3. Росстат опубликовал информацию о доле нефтегазового сектора в ВВП России в I квартале 2022 года [Электронный ресурс]. Росстат. 2022. 20 июля. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/174229>
4. Гаранина О.Л. Актуальные вопросы биржевого ценообразования на нефть // Российский внешнеэкономический вестник. 2016. № 4. С. 98–113.
5. Соколов М.М. Перспективы потребления нефти в мире и динамика мировых цен на нее // Вестник Ин-

- ститута экономики Российской академии наук. 2019. № 4. С. 108–124.
6. ГОСТ Р ИСО 14001–2016 «Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению» [Электронный ресурс]. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200134681>
7. ГОСТ Р 518858–2020 «Нефть. Общие технические условия» [Электронный ресурс]. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566325164>
8. Хлопов О.А. Причины и последствия снижения цены на нефть: интересы США и Саудовской Аравии // Власть. 2015. № 3. С. 156–161.
9. Кондратьев В.Б. Глобальный рынок нефти и газа: основные тенденции // Горная промышленность. 2019. № 6. С. 24. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2019-6-148-24-29>
10. США шестой год подряд остаются крупнейшим производителем нефти [Электронный ресурс]. Глобальная энергия. URL: <https://clck.ru/3E2HVG>
11. Омарова Ш.А. Особенности мировой среды конкурентного рынка нефти // Инновации и инвестиции. 2020. № 11. С. 72–78.
12. ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» [Электронный ресурс]. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394>
13. ГОСТ Р ИСО/ТУ 29001–2007 «Менеджмент организации. Требования к системам менеджмента качества организаций, поставляющих продукцию и предоставляющих услуги в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности» [Электронный ресурс]. Кодекс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062541>
14. Стандарты API [Электронный ресурс]. API.org. URL: <https://www.api.org/products-and-services/ru/standards>
15. Устойчивое развитие [Электронный ресурс]. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/sustainable-development/>
16. ВБ назвал показатели сжигания попутного газа в 2023 году худшими за пять лет [Электронный ресурс]. Interfax.ru. URL: <https://www.interfax.ru/business/969475>
17. Иркутская нефтяная компания переводит управление структурой организации в цифровой формат [Электронный ресурс]. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/press-center/irkutskaya-neftyanaya-kompaniya-perevodit-upravlenie-strukturoy-organizatsii-v-tsifrovoy-format/>
18. ИНК запустила робота для интеллектуального анализа данных на Ярактинском месторождении [Электронный ресурс]. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/press-center/ink-zapustila-robota-dlya-intellektualnogo-analiza-dannykh-na-yaraktinskom-mestorozhdenii/>
19. Научно-технологическое развитие в нефтегазовой отрасли России в условиях глобальной нестабильности [Электронный ресурс]. Magazine.neftegaz.ru. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/775799-nauchno-tekhnologicheskoe-razvitie-v-neftegazovoy-otrasli-rossii-v-usloviyakh-globalnoy-nestabilnost/>
20. Обеспечение технологического суверенитета и структурной модернизации в нефтегазовом комплексе России [Электронный ресурс]. Energypolicy.ru. URL: <https://energypolicy.ru/obespechenie-tehnologicheskogo-suvereniteta-i-strukturnoj-modernizaczii-v-neftegazovom-komplekse-rossii/neft/2024/12/26/>
21. Импортзамещение программного обеспечения для промышленности: что сделано за два года? Часть 1 [Электронный ресурс]. IBS.ru. URL: <https://ibs.ru/media/importozameshchenie-programmnogo-obespecheniya-dlya-promyshlennosti-chto-sdelano-za-dva-goda-chast-1/>
22. Суетин С.Н., Губайдуллин Д.В., Марченко Д.О. Теоретико-методологические аспекты применения современных технологий управления на предприятиях нефтяной и газовой промышленности // Вестник Удмуртского университета. Экономика и право. 2023. Т. 33. № 1. С. 91–96.
23. Соловенко И.С., Рожков А.А. Основные этапы цифрового перехода в топливно-энергетическом комплексе России (рубеж XX–XXI вв.) // Уголь. 2023. № 10. С. 72–78.
24. ТЭК России: оцифровка [Электронный ресурс]. Neftegaz.ru. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/547922-tek-rossii-otsifrovka/>
25. Направления работы [Электронный ресурс]. Ds.gazprom-neft.ru. URL: <https://ds.gazprom-neft.ru/business/>
26. Инновационное развитие [Электронный ресурс]. Sustainability.gazpromreport.ru. URL: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2023/about-gazprom/innovative-development/>
27. Яровая Т.В., Скворцов Д.С. Внедрение современных цифровых технологий на предприятиях ТЭК // Естественно-гуманитарные исследования. № 44(6). 2022. С. 345–348.
28. Текслер А.Л. Цифровизация энергетики: от автоматизации процессов к цифровой трансформации отрасли // Энергетическая политика. 2018. № 5. С. 22.
29. Lontsikh P.A., Kunakov E.P., Lontsikh N.P., Livshitz I., Vladimirtsev A.V. Information security methods' application based on the digital management approaches and the deming cycle in improving the modern production's processes // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and QM and IS 2020. 2020. P. 123–126.
30. Lontsikh P.A., Golovina E.Yu., Lontsikh N.P., Fedotova A.V. The relationship between the Deming cycle and the Juran quality spiral in developing the PDCA cycle and creating the network-centric management system // Quality. Innovation. Education. 2023. No. 1(183). P. 3–10. DOI: 10.31145/1999-513x-2023-1-03-10
31. Lontsikh P.A., Golovina E.Yu., Evloeva M., Livshitz I.I., Koksharov A.V. Implementation of the ESG sustainable development concept criteria using the robust design methods // 2022 International Conference on Quality Management, (IT&QM&IS), Year: 2022. Conference Paper. Publisher: IEEE.



References

1. Rosstat for the first time calculated the share of oil and gas in the Russian GDP [Electronic resource]. RBC. 2021. July 13. URL: <https://www.rbc.ru/economics/13/07/2021/60ec40d39a7947f74aeb2aae>
2. The share of the oil and gas sector in the GDP of the Russian Federation in 2023 [Electronic resource]. Kommersant. 2024. April 5. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6632852>
3. Rosstat published information on the share of the oil and gas sector in Russia's GDP in the first quarter of 2022. Rosstat. 2022. July 20. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/174229>
4. Garanina O.L. Actual issues of exchange pricing for oil // Russian Foreign Economic Bulletin. 2016. No. 4 PP. 98–113.
5. Sokolov M.M. Prospects for oil consumption in the world and the dynamics of world prices for it // Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences. 2019. No. 4 PP. 108–124.
6. GOST R ISO 14001–2016 Environmental Management Systems. Requirements and Guidelines for Use" [Electronic resource]. Code. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200134681>
7. GOST R 518858–2020 "Oil. General Technical Conditions" [Electronic resource]. Code. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566325164>
8. Khlopov O.A. Causes and consequences of the decline in oil prices: Interests of the United States and Saudi Arabia // Power. 2015. No. 3. PP. 156–161.
9. Kondratiev V.B. Global oil and gas market: main trends. // Mining Industry 2019. No. 6. P. 24. DOI: <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2019-6-148-24-29>
10. The U.S. remains the largest oil producer for the sixth consecutive year [Electronic resource]. The Global Energy Prize. URL: <https://clck.ru/3E2HVG>
11. Omarova Sh. A. Features of the world environment of the competitive oil market // Innovations and Investment. 2020. No. 11. PP. 72–78.
12. GOST R ISO 9001–2015 "Quality Management Systems. Requirements" [Electronic resource]. Code. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124394>
13. GOST R ISO/TU 29001–2007 "Organization Management. Requirements for quality management systems of organizations supplying products and providing services in the oil, petrochemical and gas industries". [Electronic resource]. Code. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200062541>
14. API Standards. API.org. URL: <https://www.api.org/products-and-services/ru/standards>
15. Sustainable development. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/sustainable-development/>
16. The World Bank called the indicators of associated gas flaring in 2023 the worst in five years. Interfax.ru. URL: <https://www.interfax.ru/business/969475>
17. Irkutsk Oil Company transfers management of the organization structure to digital format. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/press-center/irkutskaya-neftyanaya-kompaniya-perevodit-upravlenie-strukturnoy-organizatsii-v-tsifrovoy-format/>
18. Irkutsk Oil Company launched a robot for data mining at the Yarakinskoye field. Irkutskoil.ru. URL: <https://irkutskoil.ru/press-center/ink-zapustila-robotu-dlya-intellektualnogo-analiza-dannykh-na-yarakinskoy-mestorozhdenii/>
19. Scientific and technological development in the oil and gas industry of Russia in the context of global instability. [Electronic Resource]. Magazine. neftegaz.ru. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/rynok/775799-nauchno-tekhnologicheskoe-razvitiye-v-neftegazovoy-otrasli-rossii-v-usloviyakh-globalnoy-nestabilnosti/>
20. Ensuring technological sovereignty and structural modernization in the oil and gas complex of Russia [Electronic Resource]. Energypolicy.ru. URL: <https://energypolicy.ru/obespechenie-tehnologicheskogo-suvereniteta-i-strukturnoj-modernizatsii-v-neftegazovom-komplekse-rossii/neft/2024/12/26/>
21. Import substitution of software for industry: what has been done in two years? Part 1 [Electronic resource]. IBS.ru. URL: <https://ibs.ru/media/importozameshchenie-programmnogo-obespecheniya-dlya-promyshlennosti-chto-sdelano-za-dva-goda-chast-1/>
22. Suetin S.N., Gubaidullin D.V., Marchenko D.O. Theoretical and methodological aspects of the application of modern management technologies at oil and gas industry enterprises. Economy and Law. 2023. V. 33. No. 1. PP. 91–96.
23. Solovenko I.S., Rozhkov A.A. The main stages of digital transition in the fuel and energy complex of Russia (the turn of the XX–XXI centuries) // Coal. 2023. No. 10. PP. 72–78.
24. Fuel and Energy Complex of Russia: Digitization. Neftegaz.ru. URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/547922-tek-rossii-otsifrovka/>
25. Focus area [Electronic resource]. Ds.gazprom-neft.ru. URL: <https://ds.gazprom-neft.ru/business/>
26. Innovative development. [Electronic resource]. Sustainability.gazpromreport.ru. URL: <https://sustainability.gazpromreport.ru/2023/about-gazprom/innovative-development/>
27. Yarovova T.V., Skvortsov D.S. Introduction of modern digital technologies at fuel and energy enterprises. № 44(6). 2022. PP. 345–348.
28. Teksler A.L. Digitalization of the energy sector: from process automation to digital transformation of the industry // Energy Policy. 2018. No. 5. P. 22.
29. Lontsikh P.A., Kunakov E.P., Lontsikh N.P., Livshitz I., Vladimirtsev A.V. Information security methods' application based on the digital management approaches and the deming cycle in improving the modern production's processes // Proceedings of the 2020 IEEE International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and QM and IS 2020. 2020. P. 123–126.
30. Lontsikh P.A., Golovina E.Yu., Lontsikh N.P., Fedotova A.V. The relationship between the Deming cycle and the Juran quality spiral in developing the PDCA cycle and creating the network-centric management system // Quality. Innovation. Education. 2023. No. 1(183). P. 3–10. DOI: 10.31145/1999-513x-2023-1-03-10
31. Lontsikh P.A., Golovina E.Yu., Evloeva M., Livshitz I.I., Koksharov A.V. Implementation of the ESG sustainable development concept criteria using the robust design methods // 2022 International Conference on Quality Management, (IT&QM&IS), Year: 2022. Conference Paper. Publisher: IEEE.



Страничка ЦСМ





Вспомогательные инструменты региональной инфраструктуры оценки качества. Опыт ФБУ «Красноярский ЦСМ»

Е.В. Чуева

советник директора

А.Л. Захватава

начальник сектора стандартизации и оценки соответствия

Н.Б. Муродова

инженер по качеству

ФБУ «Красноярский ЦСМ» – подведомственное учреждение Росстандарта, осуществляющее полномочия в сфере технического регулирования, стандартизации, обеспечения единства измерений, оценки соответствия продукции установленным требованиям в Красноярском крае, Республике Хакасия и Республике Тыва.

ФБУ «Красноярский ЦСМ» в настоящее время ведет свою работу по 10 аттестатам аккредитации, располагает высокоточным эталонным оборудованием, что позволяет проводить поверку геометрических и механических величин, параметров потока и расхода, уровня и объема веществ, давления, вакуума, времени и частоты, физико-химического состава и свойств веществ, теплофизических и температурных величин, электротехнических и магнитных величин, радиотехнических величин, СИ медицинского назначения.

В составе Красноярского ЦСМ действуют периферийный Испытательный центр, который располагает аналитической, физико-технической и микробиологической лабораториями, действует также испытательная лаборатория электрооборудования, лаборатория радиационного контроля, орган по сертификации, а также 9 филиалов для оперативной и квалифицированной работы по обеспечению требований в области технического регулирования.

Красноярский ЦСМ ведет свою работу в трех регионах Российской Федерации: Красноярский край, Республика Хакасия, Республика Тыва. Такое

взаимодействие направлено, прежде всего, на развитие конкурентоспособности производственной сферы регионов, способствующей росту импортозамещения и наполнению внутреннего рынка страны качественными и безопасными товарами отечественного производства.

Задача инфраструктуры контроля качества, заключающаяся в снижении количества некачественной продукции, может решаться только за счет увеличения возможностей самой инфраструктуры. Таким образом, формируя в регионах компетентные площадки в формате испытательных лабораторий, органов по сертификации, отделов экспертиз, производителям предоставляется возможность проверить свою продукцию и, если это необходимо, доработать технологию производства. Основная задача производителя воспользоваться возможностями инфраструктуры. Доля, игнорирующих проведение реальных испытаний, снижается, но в этом вопросе всегда нужно быть на пару шагов в области испытаний впереди производителей, чтобы своевременно предоставить возможности для проверки качества.

Конкурс «100 лучших товаров России» является мотивационным фактором для производителей и качественным показателем для потребителей.

Программа «100 лучших товаров России» реализуется Красноярским ЦСМ более 25 лет. Средством практической реализации Программы является одноименный Всероссийский конкурс «100 лучших товаров России», проводимый в большинстве регионов нашей страны.

Филиал Красноярского ЦСМ в Республике Хакасия в 2024 году получил наибольшее количество заявок на данный конкурс по сравнению с предыдущими периодами, что свидетельствует о росте доверия потребителей к результатам конкурса.

Анализируя возможности мотивации предпринимателей к созданию качественного продукта, мы зачастую сталкиваемся с экономическими проблемами, и сам факт уровня качества уходит на второй план. С другой стороны, периодические проверки

– мониторинги качества продукции, которые проводит Красноярский ЦСМ подтверждают проблематику с фальсифицированной продукцией и однозначно дают понять, что в борьбе за экономику проигравшим оказывается потребитель.

Идею объединения под единым брендом самых лучших товаров добросовестных товаропроизводителей администрация Республики Хакасия поддержала с момента образования конкурса. Одними из первых организаций, участвующих в конкурсе в 1998 году были два крупнейших предприятия региона – ОАО «АЯН» (вода минеральная «Хан-Куль» стала лауреатом конкурса) и ОАО «Саянмолоко» (сыр мягкий «Престиж» и кисломолочный напиток «Ряженка» – дипломанты конкурса). Именно эта продукция вошла в первый каталог программы под единым наименованием «Российское качество. 100 лучших товаров», в котором были собраны сведения о самых разных потребительских товарах и их изготовителях от крупных компаний с именем и традициями до индивидуальных частных предприятий.

В 2005 году распоряжением Председателя Правительства Республики Хакасия региональный этап конкурса приобрел наименование «Лучшие товары (услуги) Республики Хакасия». В состав региональной комиссии по качеству, утвержденной распоряжением главы Республики Хакасия, входят представители министерств, специалисты надзорных органов, республиканские СМИ, эксперты общественных организаций.

На протяжении всех лет, основываясь на идее повышения качества жизни в России, работу ЦСМ поддерживает Правительство Республики Хакасия, в частности Министерство экономического развития Республики Хакасия. С целью выполнения производителями требований к качеству ЦСМ проводит работы совместно с кураторами Межрегиональной общественной организации «Академия проблем качества им. В.В.Бойцова», которые оказывают методическое сопровождение и помогают предпринимателям решать вопросы качества с применением современных инструментов. Благодаря высокой консолидации ЦСМ, исполнительных органов власти, общественных организаций популяризация Программы осуществляется по следующим направлениям:

- включение конкурса «100 лучших товаров России» в региональную программу «О защите прав потребителей в Республике Хакасия (2024-2026 годы), утвержденную постановлением Президиума Правительства Республики Хакасия;

- предоставление участникам регионального этапа конкурса «100 лучших товаров России» права маркировать конкурсную продукцию региональным брендом «Сделано в Хакасии», что позволяет получить бесплатный доступ к «Витрине товаров, работ и услуг Республики Хакасия»; маркироваться особым ценником, идентифицирующим местных производителей в торговых сетях; получать микрозаймы по пониженным на 2 процентных пункта ставкам для удовлетворения потребностей в доступных финансовых ресурсах по некоторым кредитным продуктам; получать содействие в продвижении продукции на региональных и межрегиональных рынках через маркетплейсы;

- размещение логотипов победителей конкурса в ежегодных региональных изданиях «Гastronomический путеводитель», которые работают как убедительные «точки притяжения» для туристов;

- ежегодное издание, начиная с 2003 года, каталога участников конкурса «Лучшие товары и услуги Республики Хакасия», который распространяется адресно и сопровождает наши делегации на международные выставки, размещается на официальном сайте Фонда развития Республики Хакасия и дирекции Программы «100 лучших товаров России».

В 2023 году с Фондом развития Республики Хакасия был реализован совместный проект «Истории успеха», где конкурсанты со стажем участия в конкурсе и новички раскрыли свое мнение об участии в конкурсе «100 лучших товаров России»:

– представители ООО «Вдоволь» отметили, что получили объективную экспертную оценку своей работы от компетентных специалистов, что особенно важно, когда идет независимая оценка качества. Награды конкурса размещены в сети фирменной торговли, что подтверждает высокое качество и безопасность продукции.

– ИП Боргояков П.Г. считает, что размещение на упаковке производимой продукции логотипа «100 лучших товаров России», способствует повышению доверия потребителей к своей продукции. Планирует продолжить участие во всероссийском конкурсе с целью привлечения новых партнёров и заказчиков, а также расширения географии продаж;

– специалисты ООО «Бентонит Хакасии» определили, что конкурс является дополнительной возможностью оценить самих себя, выявить свои слабые места и поставить цели по улучшению, начиная от документооборота и заканчивая про-



изводственными процессами по созданию продукции. Формирование положительного имиджа в целом компании. Победа в конкурсе очень важна для повышения мотивации персонала предприятия. Информация об всех успехах, в том числе о победах в конкурсе, доводится до всех работников – рабочих, менеджеров, руководителей, поскольку каждый сотрудник вносит вклад в победу и должен гордиться совместным результатом работы.

За период с 1998 года по 2024 год включительно, в региональную комиссию по качеству поступило 1490 заявок от 1245 предприятий Республики Хакасия, из них 554 – Дипломанта, 296 – Лауреата. За достижение высоких результатов в улучшении качества и обеспечении безопасности товаров, повышение конкурентоспособности предприятия республики награждены высшими наградами Программы: приз «Лидер качества» в номинациях: «Изделия народных и художественных промыслов», «Продовольственные товары». За развитие инновационной деятельности в регионе республиканское предприятие награждено призом «Инновация-2024» – за металлоконструкцию «L-TECHNOLOGY», тип «Гофробалка ЛСТК» для колонн и перекрытий. Десять раз продукция республиканских товаропроизводителей входила в сотню лучшей продукции страны и награждена дипломом «Золотая сотня».

Вышеперечисленные положительные примеры Хакасского филиала Красноярского ЦСМ свидетельствуют о слаженной командной работе по формированию единого подхода к качеству, обусловленное потребностью в росте доли соответствующей требованиям продукции, и тем самым благонадежных производителей, для которых уча-

стие в конкурсе один из инструментов не просто доказать качество, а гарантировать стабильность в долгосрочной перспективе.

Литература

1. О Программе «100 лучших товаров России» Приказ Госстандарта России от 23 марта 1998 г. №100.
2. О проведении регионального этапа конкурса «100 лучших товаров России»- «Лучшие товары (услуги) Республики Хакасия» Распоряжение Председателя Правительства Республики Хакасия от 17.05.2005г. №71-рп.
3. О реализации региональной программы «О защите прав потребителей в Республике Хакасия» Постановление Президиума правительства Республики Хакасия от 27.12.2023 № 269-п.
4. Захватова А.Л. На ступеньку выше....// Вестник фермера.-2021.-№1.-с.38.

References

1. On the Program «100 Best Products of Russia» Order of the State Committee for Standardization of Russia dated March 23, 1998 No100.
2. On the regional stage of the competition «100 Best Goods of Russia» - «The Best Goods (Services) of the Republic of Khakassia» Order of the Chairman of the Government of the Republic of Khakassia dated 17.05.2005. No71-rp.
3. On the implementation of the regional program «On the protection of consumer rights in the Republic of Khakassia» Decree of the Presidium of the Government of the Republic of Khakassia dated 27.12.2023 No 269-p.
4. Zakhvatova A.L. A step higher....//Farmer's Newsletter.-2021.-No1.-p.38.

Качество стохастических моделей управления запасами на предприятиях машиностроения с учетом времени задержки

В.С. Антипенко

*д-р техн. наук, РУТ (МИИТ); Москва
e-mail: antipenkovs7@mail.ru*

Н.С. Бабич

*мл. науч. сотр., РУТ (МИИТ)
e-mail: babichnikolay35@gmail.com*

К.В. Галкин

*инженер, ПТО ООО «Дефшов»
e-mail: Galkin_kostya@bk.ru*

Ю.Н. Харитонов

*доцент, РУТ (МИИТ)
e-mail: haritonoy@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается решение задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом. Запасы обеспечивают устойчивость работы производственной технической системы. На производстве имеются склады заготовок для создания конечных выходных деталей и склады готовой продукции для удовлетворения спроса потребителей. Запасы заготовок позволяют избежать простоя на производстве. Запасы готовой продукции позволяют своевременно обеспечивать спрос и избежать штрафных санкций за несвоевременные поставки готовых изделий потребителям. Это с одной стороны.

С другой стороны, объекты, составляющие запасы, – это «омертвленные» материальные средства, не приносящие прибыли и отрицательно сказывающиеся на экономической эффективности и конкурентоспособности. Согласно опубликованным данным, в экономически развитых странах, таких как США, Японии, ФРГ и других, в запасах

находится до 30–40% продукции. Все это указывает на актуальность решения проблемы оптимизации уровня запасов.

Поэтому возникает проблема установления и поддержания оптимального уровня запаса, своевременного пополнения уровня запасов с учетом времени, необходимого для выполнения заявок на пополнение уровня запасов.

В статье предлагается решение стохастической логистической задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом, приводятся конкретные примеры.

Ключевые слова: адаптивные алгоритмы, запасы инструментов, формулы, стохастический критерий.

Summary. The article considers the solution of the problem of inventory management with random delay time and random demand. Stocks ensure the stability of the production technical system. The production has warehouses of blanks to create final output parts, and warehouses of finished products to meet consumer demand. Stocks of blanks allow you to avoid downtime in production. Stocks of finished products make it possible to meet demand in a timely manner and avoid penalties for late deliveries of finished products to consumers. On the other hand, the objects that make up the reserves are these are “deadened” material assets that do not bring profit and negatively affect economic efficiency, competitiveness

Keywords: adaptive algorithms, stock rates of tools, formulas, stochastic criterion.

На предприятиях машиностроения за годы работы нередко накапливаются излишние запасы ресурсов (как исходных материальных ресурсов, так и готовой продукции), которые залеживаются на складах [1], морально и физически устаревают, теряя свою стоимость, и фактически замораживают вложенные в них средства.



Возникает цель повышения эффективности систем управления запасами запасных частей для машин специального назначения путем построения моделей, их алгоритмизации и оптимизации [2–6].

Спрос обычно носит случайный характер, а заявки выполняются со случайным временем задержки. Функции распределения спроса и времени задержки априори произвольны и неизвестны и зачастую являются неунимодальными. В этих условиях естественно воспользоваться современными методами информационных технологий, в частности алгоритмами идентификации.

Пусть система управления запасами характеризуется функцией затрат Z на хранение запаса, доставку, дефицит и т.п. Управление запасами осуществляется путем выбора стратегии управления [7, 8]. Одной из достаточно эффективных и гибких является стратегия (s, S) – стратегия, согласно которой заказ величиной $S - y$ формируется по снижению уровня запаса y ниже уровня s , $s < S$. Для случайного спроса и нулевой задержки $Z = Z(y(s, S, x))$, где (согласно Ю.И. Рыжикову, «Управление запасами») $y(s, S, x)$ – текущий уровень запаса, x – случайный спрос, s, S – уровни в (s, S) -стратегии. Тогда критерием качества системы J служит некоторая усредненная функция от затрат Z :

$$J(s, S) = M_x \left\{ F \left[\left(y(s, S, x) \right) \right] \right\} \rightarrow \min_{s, S} \quad 1$$

Применяя к (1) один из методов информационных технологий – метод стохастической аппроксимации, получаем самосогласованную систему адаптивных алгоритмов.

$$S[p+1] = S[p] - \gamma_\alpha S[p+1] \cdot f_s \cdot \nabla_s \cdot F(Z(y(s[p], x[p+1])))_2$$

$$s[p+1] = s[p] - \gamma_\alpha s[p+1] \cdot f_s \cdot \nabla_s \cdot F(Z(y(s[p], x[p+1])))_2$$

$$f_s = \begin{cases} 1, S > s + a \\ 0, S \leq s + a \end{cases} \cdot f_s = \begin{cases} 1, S > s + a \text{ é } s > b \\ 0, S \leq s + a \text{ é } s \leq u \end{cases} \quad 3$$

где ∇_α – градиент по α ;

$\gamma_\alpha[p+1]$ – коэффициенты;

f_s, f_s – функции, учитывающие ограничения на s и S .

Предполагается, что функции F и Z – дифференцируемые (о производной $\partial y / \partial s$ см. пример), в противном случае можно применить поисковые алгоритмы [9]. Достаточные условия сходимости (2) приведены в многочисленных монографиях по методам стохастической аппроксимации, в том числе и в [9].

Достаточный критерий сходимости дискретных алгоритмов обучения к цели обучения представляет собой локальный минимум, или нижнюю грань функционала, и формулируется следующим образом в обозначениях работы [9].

Дискретный алгоритм обучения сходится почти наверное, если:

а) $M_x \left\{ \nabla_c^T Q(x, c) \nabla_c Q(x, c) \right\} \leq d(a + \|c\|^2), \alpha = 0 \text{ é } 1$
где $\nabla_c^T Q(x, c)$ – транспонированная матрица;

б) элементы диагональной матрицы $\gamma_v[n]$ коэффициентов таковы, что

$$\left. \begin{aligned} 0 < \gamma_v[n] &\leq \gamma_0(\alpha, \beta), \\ \sum_{n=1}^{\infty} \gamma_v[n] &= \infty, \\ (\alpha + \beta) \sum_{n=1}^{\infty} \gamma_v^2[n] &< \infty, \end{aligned} \right\}$$

где $\beta = 1$, если случайный градиент $\nabla_c Q(x, c)$ измеряется с помехами ограниченной дисперсии и нулевым средним, и $\beta = 0$, если помех нет.

Смысл этих условий сходимости весьма прост. Требование «а» налагает ограничения на порядок роста функционала, а значит, и градиента, а именно, градиент $\nabla J_{(c)}(c)$ должен расти при росте нормы c не быстрее линейного закона. Требование «б» соответствует тому, что дискретный алгоритм обучения должен обеспечить минимум, или нижнюю грань функционала. При этом $\gamma_v[n] (v = 1, 2, \dots, N)$ должны так уменьшаться, чтобы устранять влияние помех, но не настолько быстро, чтобы останавливаться в точке, отличной от точек минимума. При отсутствии помех $\alpha = \beta = 0$ можно принять $\gamma_v[n] (v = 1, 2, \dots, N)$ постоянными или стремящимися с ростом n к постоянным величинам [9].

В процессе вычисления в (2) необходимо знать явный вид функции $y(s, S, x)$ для нахождения производных по s и S . Запишем уравнение, моделирующее динамику запасов и использующее для управления (s, S) -стратегию. Известно, что в рамках (s, S) -стратегии при $y \geq s$ система не реагирует на спрос, а при $y < s$ посылается заказ на пополнение запаса в размере $(S - y)$, который при нулевой задержке поступает «мгновенно» на склад. Моделью с нулевым интервалом времени задержки можно пользоваться, если время доставки заказа на склад меньше интервала времени между двумя заявками. Неудовлетворенные заявки не покидают систему, а ждут, пока дефицит запаса не будет устранен очередным заказом. Все исследование проводится для дискретного спроса.

Перенумеруем заявки по мере поступления в систему. Можно считать, что их число бесконечно. Выполняется очевидное отношение:

$$y_k(x[i]) = y_{k-1}(x[\eta_{k-1}]) + (S - y_k(x[i]) \operatorname{sgn}(s - y_k(x[i-1]))) - x[i] \quad (6)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots$

$$y_0(x([\eta_0])) - \text{начальный уровень запаса}$$

$$y_k(x[i]) \equiv y(s, S, x[i]); \quad \text{sgn } \beta = \begin{cases} 1, & \beta > 0, \\ 0, & \beta \leq 0, \end{cases}$$

где k – номер периода по порядку;

η_k – номер последней заявки в k -м периоде, определяющейся из условия

$$\text{sgn}(s - y_k(x[i-1]) - x[i]) = 1 \rightarrow i = \eta_k.$$

Следует отметить, что в (1) – (3) время не встречается в явной форме. Зависимость от времени существенна для объектов, функции затрат которых изменяются за рассматриваемый промежуток времени. Как правило, вид функции затрат для объектов машиностроения не изменяется за время оптимизации. Представляет значительный практический интерес проблема оптимизации запасов ЗИП для спецтехники.

В самом деле, на складе важен уровень запаса в момент поступления очередной заявки, а не в момент времени поступления заявок. Дефицит возможен только при $s < 0$. Если в системе существует задержка, то и при $s > 0$ может появиться дефицит. В этом случае при получении исходной информации и уравнения аналогичного (3) можно обойтись в алгоритмах без использования времени в явной форме, несмотря на то, что при задержке имеет смысл промежуток времени. При моделировании динамики уровня запаса учтем случайную задержку через случайное количество заявок, приходящих в течение этого промежутка времени. Как уже отмечалось, принять во внимание задержку можно лишь при поступлении заявок во время задержки, в противном случае пригодна для описания процесса управления запасами более простая математическая модель с «мгновенной» поставкой. При таком подходе удастся отказаться от хронометрирования изменения уровня y , что существенно снижает трудоемкость получения исходной информации. Нужны лишь данные о величине и очередности отдельных заявок, а не об их временном распределении. Сведения о величине и очередности заявок в рассматриваемых примерах устанавливались по отчетным документам. Здесь возможен неоднозначный подход в учете потерь за счет того, что в одном случае может поступить по заявкам во время задержки, а задержка заказа составит α единиц времени; в другом случае при по заявкам времени задержки будет α -то единиц времени, $\alpha \geq 0$. Указанную неоднозначность можно устранить при получении исходной информации описываемым далее способом. По отчетам устанавливается длительность простоя $tp > 0$, которая может возникнуть только в течение времени задержки при $s > 0$. Допустим, величина штрафа за простой у потре-

бителя равна $\Psi(t_n)$, величина штрафа за дефицит в объеме δ для склада – $d(\delta)$. Тогда, определяя δ_0 из условия $d(\delta_0) = \Psi(t_n)$, $\delta_0 = d^{-1}\Psi(t_n)$, и рассматривая δ_0 в качестве дополнительной заявки в конце данной задержки, получим соотношения, в которых время не фигурирует в явном виде. Если исследуется только склад и влияние дефицита на потери у потребителя неизвестно, то δ_0 не возникает. При таком подходе время простоя пересчитывается на величину дополнительной заявки в объеме δ_0 и добавляется к потерям на складе из-за дефицита.

Учитывая изложенное, запишем соотношение, моделирующее динамику уровня запаса при наличии случайной задержки:

$$y(m_k, x[i]) = y(m_{k-1}, x[\eta_{k-1}]) + \delta_i^{\eta_k} \cdot \sum_{j=\eta_{k-1}+2}^{i-1} (S - y(m_k, x[j])) \cdot$$

$$\cdot [\text{sgn}(s - y(m_k, x[j])) - \text{sgn}(s - y(m_k, x[j-1]))] +$$

$$+ (S - y(m_k, x[\eta_{k-1} + 1])) \cdot \text{sgn}(s - y(m_k, x[\eta_{k-1} + 1])) \cdot \delta_i^{\eta_k} - x[i], \quad (9)$$

где $y(m_k, x[i]) \equiv y(s, S, m_k, x[i])$ уровень запаса в k -м периоде;

m_k – задержка в k -м периоде (случайное количество заявок в течение времени задержки).

Таким образом, соотношения (2) и (3) дают описания задачи для случайного спроса и нулевой задержки, (2) – (4) – для случайного спроса и ненулевой задержки. Так как методы с использованием первой производной (градиента) являются необходимым условием экстремума, то будем сравнивать значения критерия в процессе вычисления $s[p]$, $S[p]$ для различных p . Для функционала (1) воспользуемся алгоритмом типа (2) [4, 7]:

$$J_e[p] = J_{e-1}[p] - f_e[p] \{ F(Z(y(s[p], S[p], x[e]))) - J_{e-1}[p] \},$$

$$\text{где } J_e[p] = J_e(s([p], S[p])).$$

В качестве примера рассматривается задача оптимизации уровня запасов плат, планок, гаек М5 и винтов М8 для спецтехники.

В представляемой постановке удастся получить решение задачи управления запасами со случайным временем задержки и случайным спросом, причем:

- нет необходимости в учете распределения заявок по времени, что существенно сокращает трудоемкость сбора информации и дальнейших вычислений; количество стоимостных функций можно увеличить, не меняя схемы решения;
- можно решать задачи и с нелинейными стоимостными функциями;
- можно использовать и другие стратегии управления запасами, для чего нужно соответствующим образом модифицировать (8) или (9);



– использование адаптивного подхода освобождает от необходимости предварительной обработки информации с целью установления типа функции плотности распределения вероятностей и (или) ее параметров, что позволяет получать решения в более широком классе функций по сравнению с аналитическим подходом и приводит к оптимальным решениям и при статистически малом объеме информации. Это важно в промышленности, когда функционирование систем в режиме, далеком от оптимального, обходится недешево;

– удобно для применения ЭВМ, так как решение получается в виде рекуррентных соотношений.

Таким образом, использование современных методов теории идентификации позволило построить схему снижения уровня материальных средств, выведенных из оборота, и повысить эффективность и конкурентоспособность изделий спецтехники [3].

Приведенные в работе экономические функции получены по стандартным методикам на основании отчетных бухгалтерских документов, отображающих учитываемые в данной работе затраты.

В качестве примера приведем результаты графиков планок 1 и 2 для спецтехники (рис. 1 и 2).

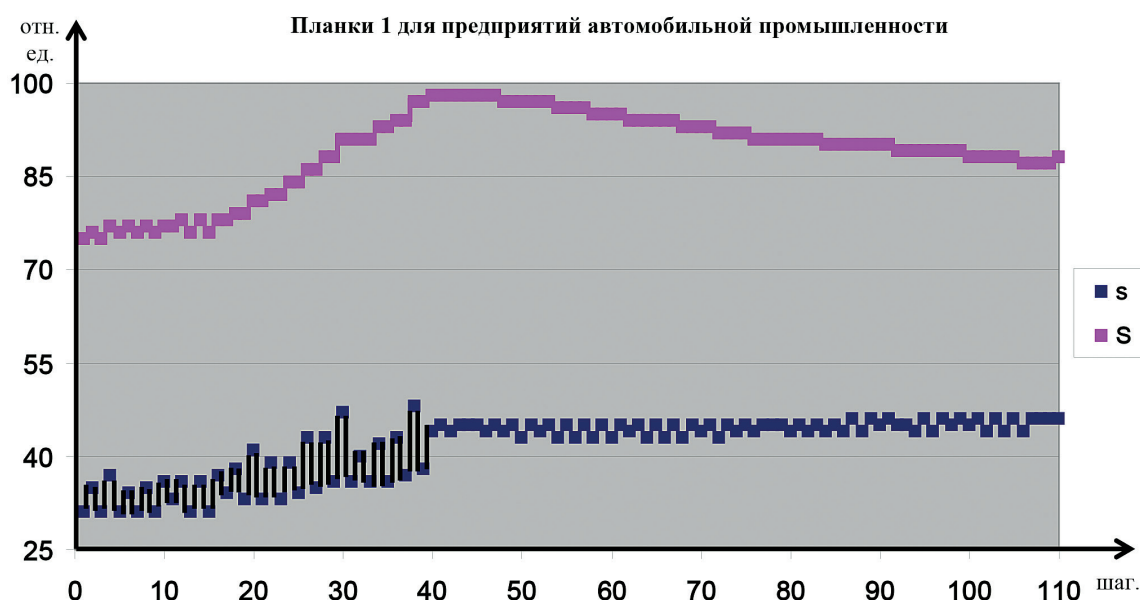


Рисунок 1. Графики (1) изменения уровней запасов ЗИП для предприятий автомобильной промышленности

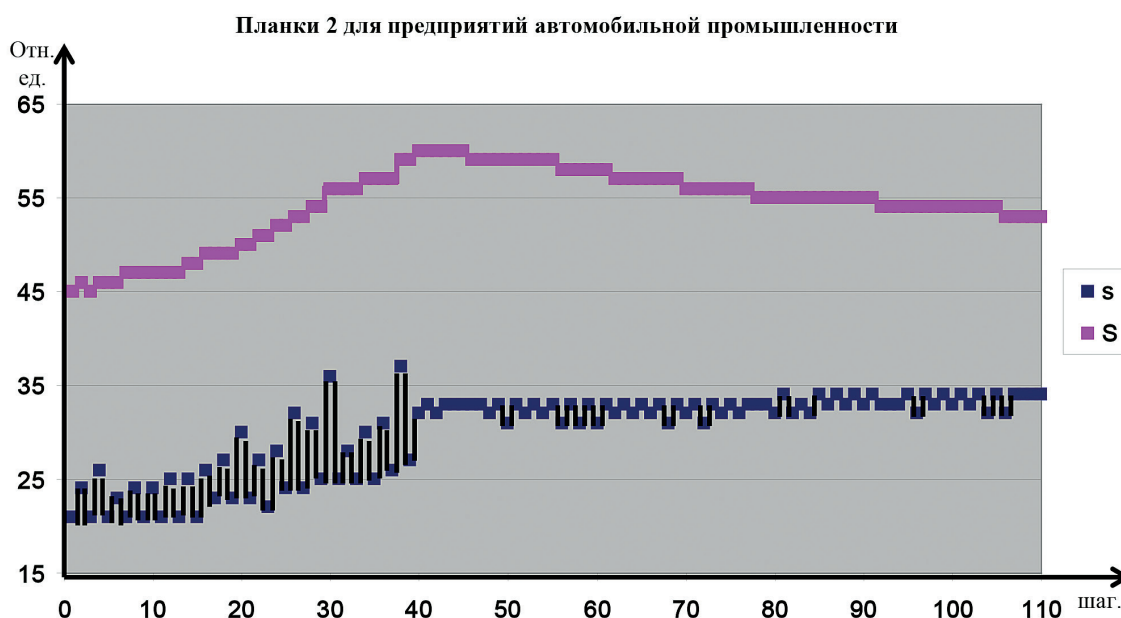


Рисунок 2. Графики (2) изменения уровней запасов ЗИП для предприятий автомобильной промышленности

Выводы

В работе предложена математическая модель стохастической СУЗ и предложен неявный способ учета времени задержки доставки заказа на пополнение запаса на складе через учет поступающих в течение времени задержки заявок (спрос). Рекуррентные соотношения (2) получены методами теории идентификации. Таким образом, использование современных методов логистики позволило построить схему снижения уровня материальных средств на складе и повысить эффективность и конкурентоспособность изделий спецтехники.

Источники

1. Пашков А.К., Полярин Ю.Н. Складское хозяйство и складские работы. М.: Академкнига, 2003. 366 с.
2. Бородин Н.Н. Современные технологии и система управления ресурсами предприятия. Тула: Изд-во Тульского гос. пед. ун-та им. Л.Н. Толстого, 2004. 113 с.
3. Радионов А.Р., Радионов Р.А. Менеджмент: нормирование и управление производственными запасами и оборотными средствами предприятия: Учеб. пособие. М.: Экономика (Казань: ГУП ПИК Идел-Пресс), 2005. 614 с.
4. Антипенко В.С. О методе оптимизации уровня запаса на складах предприятия // Экономика и математические методы. 1975. № 2. С. 389–393.
5. Мерфи П.Р., Вуд Д.Ф. Современная логистика / Пер. с англ. 8-е изд. М.: И.Д. Вильямс, 2017. 720 с.
6. Антипенко В.С., Галкин К.В. Обоснование выбора модели управления запасами ЗИП и запчастей к машинам спецтехники в быстроизменяющихся экономических условиях: Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции «Безопасность движения поездов». Москва, 8–9 ноября 2018 г. М., 2018. С. (IX–36) – (IX–37).
7. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управления запасами. СПб.: Питер, 2001. 384 с.

8. Бауэрокс Д.Д., Клосс Д.Д. Логистика. Интегрированные цепи поставок / Пер. с англ. М.: Олимп-Бизнес, 2001. 600 с.

9. Цыпкин Я.З. Основы обучающих систем. М.: Наука, 1970. 252 с.

References

1. Pashkov A.K., Polyarin Yu.N. Warehousing and storage operations. M.: Akademkniga, 2003. 366 p.
2. Borodin N.N. Modern technologies and enterprise resource management system. Tula: Publishing House of the Tula State Pedagogical Institute. University named after L.N. Tolstoy, 2004. 113 p.
3. Radionov A.R., Radionov R.A. Management: rationing and management of production stocks and operating assets of the enterprise: Study guide. M.: Economics (Kazan: GUP PIK Idel-Press), 2005. 614 p.
4. Antipenko V.S. On the method of optimization of the stock level in the warehouses of the enterprise // Economics and mathematical methods. 1975. No. 2 PP. 389–393.
5. Murphy P.R., Wood D.F. Modern Logistics / Translated from English 8th ed. M.: I.D. Williams, 2017. 720 p.
6. Antipenko V.S., Galkin K.V. Substantiation of the choice of a model for managing stocks of SPTE and spare parts for special equipment machines in rapidly changing economic conditions: Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference "Train Traffic Safety". Moscow, November 8–9, 2018. M., 2018. P. (IX–36) – (IX–37).
7. Ryzhikov Yu.I. Theory of queues and inventory management. St. Petersburg: Piter, 2001. 384 p.
8. Donald J. Bowersox
David J. Closs. Logistics. The Integrated Supply Chain Process/ Translated from English M.: Olymp-Business, 2001. 600 p.
9. Tsyarkin Y.Z. Fundamentals of Educational Systems. M.: Nauka, 1970. 252 p.



Расчет необходимого количества инфракрасных ламп перед процессом выпечки

Г.В. Короткова

канд. биол. наук, филиал ФГБОУ ВО «НИУ
«МЭИУ» в г. Смоленске

e-mail: KgV49@rambler.ru

А.А. Нагапетян

магистр, филиал ФГБОУ ВО «НИУ
«МЭИУ» в г. Смоленске

e-mail: nagapetyanadelina@yandex.ru

Аннотация. В хлебопекарной промышленности ведущей единицей оборудования традиционно выступает печь и агрегаты на ее основе. Основными характеристиками печи являются ее производительность, количество теплоты, поглощаемое печью, энергоэффективность.

В данной статье предлагается совершенствование процесса выпечки бараночных изделий путем установки ламп с инфракрасным излучением для предварительного нагрева тестовых заготовок перед выпечкой.

В работе предлагается расчет, благодаря которому можно будет вычислить необходимое количество ламп для замены части теплоты, выделяемой печью.

Ключевые слова: инфракрасные лампы, хлебопекарная печь, расчет, тепловой баланс.

Summary. In the bakery industry, the leading unit of equipment is traditionally the oven and units based on it. The main characteristics of the oven are its productivity, the amount of heat absorbed by the oven, and energy efficiency. This article proposes improving the process of baking ring-shaped products by installing lamps with infrared (IR) radiation for preheating dough pieces before baking. The paper proposes a calculation that will make it possible to calculate the required number of lamps to replace part of the heat emitted by the oven.

Keywords: infrared lamps, bakery oven, calculation, heat balance.

Подбор ведущего оборудования на предприятии промышленного производства является актуальной задачей при составлении машинно-аппаратурной линии. От его эффективности и производительности зависит качество выпускаемой продукции и работа предприятия в целом.

В хлебопекарной промышленности ведущей единицей оборудования традиционно выступает печь и агрегаты на ее основе. Основными характеристиками печи являются ее производительность, количество теплоты, поглощаемое печью, и энергоэффективность.

Работа хлебопекарных печей связана с расходом природного газа для обогрева, что снижает экологичность производства [1]. Кроме того, подобные агрегаты требуют постоянного контроля их работы и периодического обслуживания и ремонта.

В данной работе предлагается совершенствование процесса выпечки бараночных изделий путем установки ламп с инфракрасным (ИК) излучением для предварительного нагрева тестовых заготовок перед выпечкой. Предполагается, что это снизит тепловую нагрузку на печь и повысит эффективность работы линии в целом.

С целью подбора числа ИК-ламп рассчитаем тепловой баланс хлебопекарной печи ПХК-16 [2, 3]. Согласно формуле (1) количество теплоты, поглощаемое печью, Вт ($Q_{к.т.}$) состоит из суммы расхода теплоты, которую печь получает от обогревательных систем, Вт ($Q_{об.с.}$), и расхода теплоты самой камеры, Вт ($Q_{р.т.}$).

$$Q_{к.т.} = Q_{об.с.} + Q_{р.т.} \quad (1)$$

Определим количество теплоты (2), поглощаемое печью:

$$q_{к.т.} = q_1^{к.т.} + q_2^{к.т.} + q_3^{к.т.} + q_4^{к.т.} + q_6^{к.т.} + q_7^{к.т.}, \quad (2)$$

где $q_{к.т.}$ – количество теплоты, поглощаемое печью на 1 кг горячей продукции, кДж/кг.

Определим теоретические потери тепла на 1 кг продукции, кДж/кг ($q_1^{к.т.}$):

$$q_1^{к.т.} = W_{исп} (h_{п.п.} - h_B) + (g_{с.в.} C_k + W_B C_B) (t_B - t_T) \quad (3)$$

где $g_{с.в.}$ – количество сухого вещества бараночных изделий, $g_{с.в.} = 1 - W_B = 1 - 12\% = 0,88$ кг;

W_B – масса влаги в 1 кг горячих бараночных изделий, кг;

$W_{исп}$ – упек (20%);

$h_{п.п}$ – энтальпия перегретого пара (2757,7 кДж/кг) [4];

h_b – энтальпия воды, поступающей на увлажнение, кДж/кг (251 кДж/кг) [4]; $ск = 1,47$ кДж/(кг·К);

температура тестовых заготовок после ошпарки перед посадкой их в пекарную камеру $t_T = 60^\circ\text{C}$,

температура горячих сухеш при выходе их из пекарной камеры $t_B = 100^\circ\text{C}$.

Тогда из формулы (3) получаем:

$$q_1^{K.T.} = 0,20(2757,7 - 251) + (0,88 \cdot 1,47 + 0,12 \cdot 4,18)(100 - 60) = 573,15 \text{ кДж/кг.}$$

Определим потери теплоты на испарение воды и перегрев пара, поступающих в пекарную камеру на увлажнение тестовых заготовок и среды пекарной камеры, кДж/кг:

$$q_2^{K.T.} = D_{п.п} (h_{п.п} - h_n) + D_b (h_{п.п} - h_b), \quad (4)$$

где $D_{п.п}$ – масса насыщенного пара, поступающего в пекарную камеру на увлажнение сухеш или других мучных изделий, кг пара на 1 кг горячих изделий (0,16 кг/кг);

h_n – энтальпия насыщенного пара, кДж/кг ($h_n = h_b + rx = 251 + 2257 \cdot 0,85 = 2169,45$ кДж/кг);

D_b – масса воды, поступающей в пекарную камеру на увлажнение, кг/кг (0,05 кг/кг);

параметры насыщенного пара, $p = 0,1$ МПа, степень сухости $x = 0,85$.

Тогда:

$$q_2^{K.T.} = 0,16(2757,7 - 2169,45) + 0,05(2757,7 - 251) = 219,05 \text{ кДж/кг.}$$

Рассчитаем потери теплоты на нагрев воздуха, поступающего в камеру, кДж/кг:

$$q_3^{K.T.} = \frac{W_{исп} + D_{увл}}{d'_{п.к} - d_B} C_p (t'_{п.к} - t_B), \quad (5)$$

где c_p – удельная массовая теплоемкость воздуха, принимаемая при расчетах равной 1,005 кДж/(кг·К);

d_b – влагосодержание наружного воздуха, поступающего в пекарную камеру при температуре и относительной влажности воздуха, кг на 1 кг сухого воздуха (0,089);

$d'_{п.к}$ – влагосодержание среды в пекарной камере при температуре ее в сечении верхней части окна и относительной влажности воздуха (0,422); Дувл = 0,16 кг/кг;

параметры наружного воздуха.

Тогда по формуле (5):

$$q_3^{K.T.} = \frac{0,20 + 0,16}{0,422 - 0,089} 1,005(150 - 20) = 140,43 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Проведем расчет потерь теплоты на нагрев конвейерных цепей, кДж/кг:

$$q_4^{K.T.} = g_{м.ц} C_m (t'_ц - t'_м), \quad (6)$$

где $g_{м.ц}$ – масса соответственно цепей, 1 кг металла на 1 кг сухеш;

c_m – удельная массовая теплоемкость металла цепей, кДж/(кг·К) (0,462 кДж/(кг·К));

$t'_м$ – температура цепей, люлек и форм при входе в пекарную камеру, $^\circ\text{C}$ (60 $^\circ\text{C}$);

$t'_м$ – температура цепей, люлек и форм при выходе из пекарной камеры, $^\circ\text{C}$ (150 $^\circ\text{C}$).

Масса цепей находится по формуле:

$$g_{м.ц} = m_{ц.к.} h_n / (n \cdot 1,0) 13,3 \cdot 2 \cdot 0,28 / (112 \cdot 1,0) = 0,067 \text{ кг/кг,} \quad (7)$$

где n – количество сухеш, помещающихся на поде.

Тогда по формуле (6) получаем:

$$q_4^{K.T.} = 0,067 \cdot 0,47 (150 - 60) = 2,83 \text{ кДж/кг.}$$

Расход теплоты наружными поверхностями стенок пекарной камеры определяется по формуле (8), кДж/кг

$$q_5^{K.T.} = 3,6 \cdot Q_{o.c} / G_x, \quad (8)$$

где $Q_{o.c}$ – потеря теплоты в окружающую среду (рассчитывается по формулам [2]), Вт ($Q_{o.c} = 3150$ Вт);

G_x – производительность печного агрегата, кг/ч (89 кг/ч).

Тогда:

$$q_5^{K.T.} = 3,6 \cdot \frac{3150}{89} = 127,5 \text{ кДж/кг}$$

Потери теплоты через фундамент пекарной камеры принимаем равной 5% от суммы всех потерь, кДж/кг.

Тогда:

$$q_6^{K.T.} = 0,05(573,15 + 219,05 + 140,43 + 2,83 + 127,5) = 53,15 \text{ кДж/кг.} \quad (9)$$

Расход теплоты излучением через посадочные и разгрузочные окна пекарной камеры принимаем равным 7% от суммы всех потерь, кДж/кг:

$$q_7^{K.T.} = 0,07(573,15 + 219,05 + 140,43 + 2,83 + 127,5 + 53,15) = 78,06 \text{ кДж/кг.} \quad (10)$$

Для определения количества теплоты, поглощаемого печью на 1 кг горячей продукции, найдем сумму согласно формуле (2):

$$q_{к.т.} = 573,15 + 219,05 + 140,43 + 2,83 + 127,5 + 53,15 + 78,06 = 1194,12 \text{ кДж.}$$

Количество теплоты, которое печь получает от обогревательных систем, определяется по формуле (12), Вт ($Q_{об.с.}$):

$$Q_{об.с.} = \frac{q_{к.т.} \cdot G_x}{3,6} = \frac{1194,12 \cdot 89}{3,6} = 29521,3 \text{ Вт} \quad (11)$$

Тогда уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$Q_{к.т.} = Q_{об.с.} + Q_{р.т.} = 29521,3 + 2952,13 = 32473,13 \text{ Вт} = 32 \text{ кВт.}$$

$Q_{р.т.}$ – принимаем 10% от $Q_{об.с.}$

Зная количество тепла, выделяемого печью, можем найти количество теплоты, которое должны выделять лампы в форкамере. Данное значение принимаем равным 30% от расчета теплоты печи.



$$Q_{п.а.ф.} = 32473,13 \cdot 30\% = 9741,9 \text{ Вт} \approx 10 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Для подтверждения данного расчета проведем расчеты для пекарной камеры с увеличением температур продукта, ленты и с уменьшением расхода газа. Тогда:

$$\begin{aligned} q_1^{п.к.} &= 300 \text{ кДж/кг}, \\ q_2^{п.к.} &= 220 \text{ кДж/кг}, \\ q_3^{п.к.} &= 100 \text{ кДж/кг}, \\ q_4^{п.к.} &= 5 \text{ кДж/кг}, \\ q_5^{п.к.} &= 125 \text{ кДж/кг}, \\ q_6^{п.к.} &= 37,5 \text{ кДж/кг}, \\ q_7^{п.к.} &= 55,125 \text{ кДж/кг}, \end{aligned}$$

$$q_{п.к.} = 300 + 220 + 100 + 5 + 125 + 37,5 + 55,125 = 20831,56 \text{ кДж}.$$

Тогда уравнение теплового баланса имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} Q_{п.а.} &= \frac{q_{п.к.} \cdot G_x}{3,6} + Q_{пот.а} = \frac{20831,56 \cdot 89}{3,6} + Q_{пот.а} = \\ &= 20831,56 + 2083,156 = 22914,7 = 22 \text{ кВт}. \end{aligned} \quad (13)$$

Зная необходимую мощность форкамеры, можно найти необходимое количество ламп:

$$N = \frac{Q_{п.а.ф.}}{q_1} = \frac{9741,9}{1100} = 9 \text{ НВ}_{шт.}, \quad (14)$$

где N – количество ламп, необходимое для форкамеры;

$Q_{п.а.ф.}$ – мощность форкамеры кВт;

q_1 – мощность одной лампы, Вт.

Проведенный расчет позволяет предположить замену части тепла, излучаемого хлебопекарной печью при выпечке бараночных изделий, на более экономичное ИК-излучение. Проведенный расчет может быть использован для расчета числа ИК-ламп для предварительного нагрева тестовых заготовок перед выпечкой.

Источники

1. Нагапетян А.А. Экологические проблемы на хлебозаводе: Сб. трудов XIV Международной

межвузовской научно-практической конференции студентов «Актуальные проблемы формирования здорового образа жизни студенческой молодежи» / Сектор филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. Смоленск, 2023. С. 326–328.

2. Буюнов О.Н. Тепло- и хладоснабжение предприятий пищевой промышленности: Учеб. пособие. Кемерово: КемГУ, 2006. 282 с.

3. Маклюков И.И., Маклюков В.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства. 6-е изд., стер. СПб.: Лань, 2024. 408 с.

4. Параметры пара – Паровая турбина – uCoz [Сайт]. URL: http://par-turbina.ucoz.net/index/parametry_para/0-10

References

1. Nagapetyan A.A. Ekologicheskie problemy na khlebozavode: Sb. trudov KhIV Mezhdunarodnoy mezhvuzovskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov "Aktual'nye problemy formirovaniya zdorovogo obraza zhizni studencheskoy molodezhi". Sektor filiala FGBOU VO "NIU 'MEI'" v g. Smolenske [Environmental Problems at the Bakery: Collection of works of the XIV International Interuniversity Scientific and Practical Conference of Students "Actual Problems of Forming a Healthy Lifestyle of Student Youth" Smolensk: "sector of the branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "National Research University 'MPEI'" in Smolensk"]. Smolensk, 2023, pp. 326–328.

2. Buyanov O.N. Teplo- i khladosnabzhenie predpriyatiy pishchevoy promyshlennosti [Heat and Cooling Supply of Food Industry Enterprises]. Ucheb. posobie. Kemerovo, KemGU, 2006, 282 p.

3. Maklyukov I.I., Maklyukov V.I. Promyshlennye pechi khlebopekarnogo i konditerskogo proizvodstva [Industrial Ovens for Bakery and Confectionery Production]. 6-e izd., ster. Saint Petersburg, Lan', 2024, 408 p.

4. Parametry para – Parovaya turbina – uCoz [Website], available at: http://par-turbina.ucoz.net/index/parametry_para/0-10

Оценка вибрационного воздействия на органолептические и физико-химические показатели кукурузных трубочек при экструдировании

В.Н. Денисов

д-р техн. наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование» Смоленского филиала Московского энергетического института

А.И. Игнатенкова

магистрант кафедры «Технологические машины и оборудование» Смоленского филиала Московского энергетического института

Аннотация. В современном мире повышается конкуренция между производителями пищевых продуктов. Один из путей получения преимущества в конкурентной борьбе – повышение качества продукта. В статье осуществляется оценка вибрационного воздействия на выходную матрицу экструдера в части влияния на органолептические и физико-химические показатели качества кукурузных трубочек.

Ключевые слова: экструдер, кукурузная трубочка, физико-химические характеристики, органолептические характеристики, возбудитель принудительной вибрации.

Summary. In the modern world, competition between food manufacturers is on a rise. One of the ways to gain an advantage in the competition is to improve the quality of the product. The article assesses the vibrational impact on the extruder die in terms of its effect on the organoleptic and physicochemical quality indicators of corn sticks.

Keywords: extruder, corn straw, physicochemical characteristics, organoleptic characteristics, forced vibration exciter.

Введение

В последние десятилетия благодаря интенсивному развитию технологий экструзия стала одним из наиболее популярных методов переработки полимеров и других материалов. Эффективность экструзионных процессов во многом зависит от различных факторов, включая параметры самой машины, свойства исходного материала и условия эксплуатации [1–4]. Для повышения эффективности экструзии все большее внимание привлекает влияние вибрационных воздействий на экструдер, его элементы, свойства получаемого продукта [2]. Изучение этого влияния имеет особую актуальность, поскольку вибрация может значительно изменять динамику процесса экструзии, что в свою очередь приведет к повышению или снижению эффективности экструзии и качества продукта.

Современные исследования показывают, что вибрационные воздействия могут модифицировать структуру потока расплава, увеличивать равномерность смешения компонентов и улучшать теплопередачу, что в итоге благоприятно сказывается на процессе экструзии и качестве продукта. Несмотря на обширный объем литературы, касающейся технологии экструзии, работ, посвященных влиянию вибрации на характеристики процесса, все еще недостаточно, что подчеркивает необходимость дополнительных исследований в этой области.

Основной целью данной научной статьи является изучение процесса экструзии с учетом вибрационного воздействия на физико-химические и органолептические характеристики пищевых продуктов. На примере производства кукурузных трубочек экспериментальные данные подтверждают, что экструзия, с учетом вибрационного воздействия, представляет собой современный и высокоэффективный способ переработки различных видов сырья, который позволяет значительно улучшить их питательные и органолептические свойства.



Материалы и методы

При проведении эксперимента использовалось кукурузное зерно размером фракции 8–10 мм и влажностью 12,5%. В результате эксперимента получено 7 образцов кукурузных трубочек, которые являются объектом нашего исследования. Каждый образец продукта формировался экструдером в течение пяти секунд при разном значении вибрационного воздействия частотой от 0 до 5400 об/мин.

Вибрационные воздействия на экструдированные продукты играют значительную роль в процессе экструзии, изменяя физико-химические характеристики и органолептические свойства конечного продукта. Находясь в условиях вибрационного воздействия, молекулы материала, проходящие через экструдер, подвержены воздействию дополнительной энергии, что приводит к увеличению их подвижности. Это в свою очередь способствует более равномерному распределению тепла и уменьшению вязкости массы, что важно для достижения оптимальных параметров экструзии.

Важной частью исследования воздействия вибрации на экструзионный процесс является изменение физико-химических характеристик, таких как текстура и влажность продукта. Эти изменения могут повысить микропорозность, что сулит улучшением текстуры продукта. Данные физико-химические изменения напрямую влияют на стабильность и срок хранения готового продукта, так как измененная структура может замедлять процессы окисления и порчи.

Органолептические характеристики, такие как вкус, аромат, текстура и внешний вид, тоже заметно меняются под воздействием вибрации. В рамках проведенных экспериментов было установлено, что вибрационное воздействие способствует улучшению органолептических факторов на выходе. Например, результаты эксперимента показали, что продукты, прошедшие через матрицу экструдера с вибрационным воздействием, демонстрировали более высокую оценку по этим критериям, чем их аналоги, не подвергавшиеся подобному влиянию. Следствие вибрационного воздействия – улучшение взаимодействия ингредиентов и снижение трения в области действия вибрации, что ведет к обогащению вкусовых и ароматических свойств. Изменение текстуры продукта, связанное с изменением его порозности и улучшением консистенции, дополнительно подчеркивает качество конечного изделия и степень его потребительского интереса.

Результаты и обсуждение

В процессе экструзии происходит формирование новой структуры продукта благодаря механическим и тепловым воздействиям. Вибрация усиливает перемешивание компонентов, увеличивая их контакт и улучшая отхождение продукта, проходящего через матрицу. Это приводит к более однородной консистенции и лучшему смешиванию ингредиентов, что влияет на конечные физико-химические показатели, такие как содержание влаги, плотность и текстура. Исследования показывают, что при введении вибрационного воздействия в экструзионный процесс наблюдается значительное снижение влажности готового продукта, что приводит к повышению хрусткости и улучшению текстуры. Это является критически важным для восприятия потребителем.

После получения экспериментальных образцов давалась экспертная оценка по 10-балльной системе каждому образцу. Результаты оценки органолептических показателей образцов, полученных в ходе эксперимента, отображены на *рис. 1*.

По диаграмме можно сделать вывод о положительном влиянии вибрационного воздействия на готовый продукт. Значение органолептических показателей увеличивается при повышении числа оборотов вращения эксцентрика.

Также была определена влажность образцов с помощью влагомера Farmpoint. Данные измерений отображены на *рис. 2*. Дополнительно с помощью шумомера определялся уровень шума от сборной установки. Результаты отображены на *рис. 3*.

При анализе показателей влагоудерживающей способности было отмечено, что вибрация способствовала улучшению данного параметра. В образцах, подвергнутых вибрации, содержание влаги после экструзии снижалось медленнее. Это связано с тем, что вибрационные колебания способствовали лучшему перемешиванию компонентов и более равномерному распределению влаги в массе продукта, что подтверждает теорию о том, что механическое воздействие может улучшить технологические свойства сырья в процессе обработки.

Поэтому важным критерием при выборе оптимального диапазона вибрационного воздействия при экструдировании является и уровень шума. Исследование показало, что с повышением частоты вращения эксцентрика увеличивался шум от установки. Слишком большое значение уровня шума означает значительное воздействие на рабочие органы оборудования или крепежные соединения, что может привести к скорому износу де-

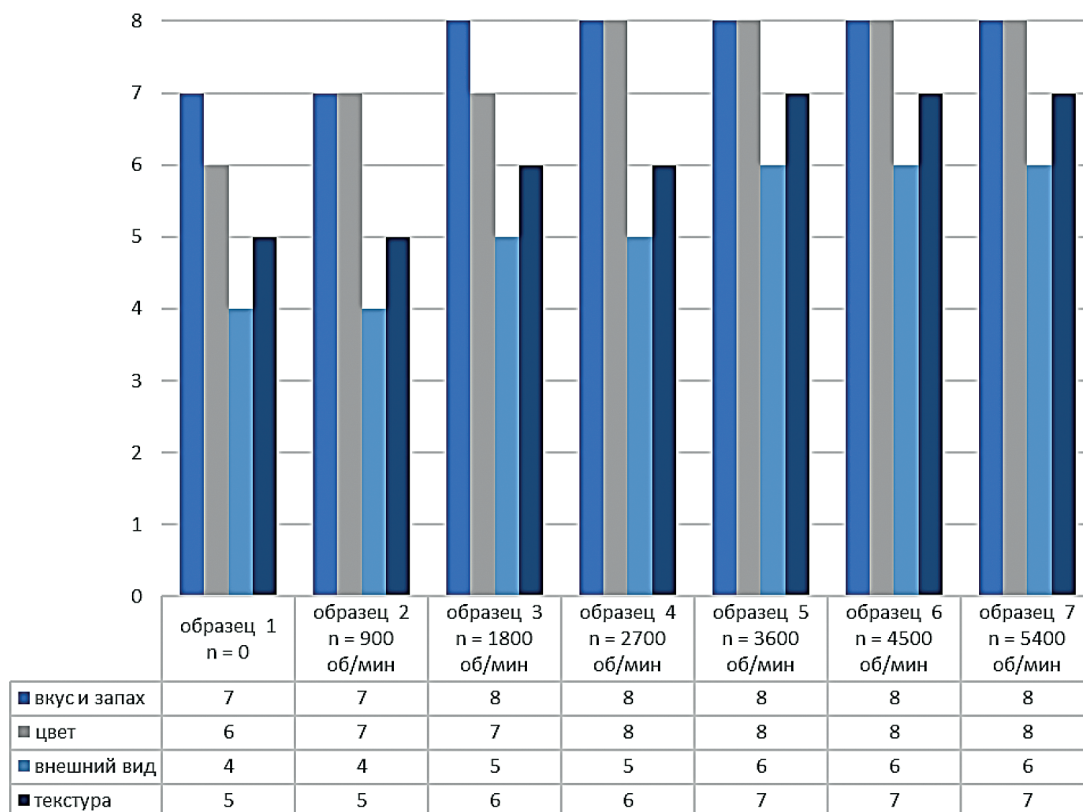


Рисунок 1. Оценка органолептических показателей образцов

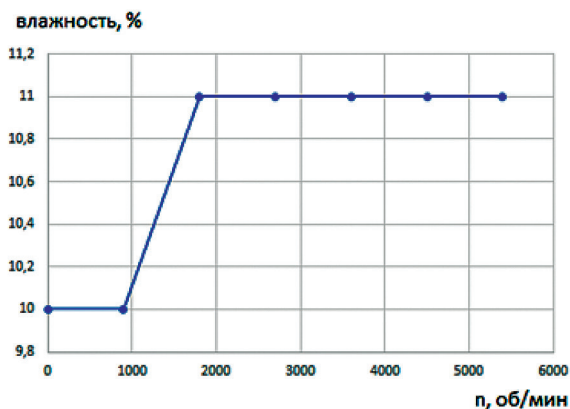


Рисунок 2. Оценка влажности образцов при изготовлении

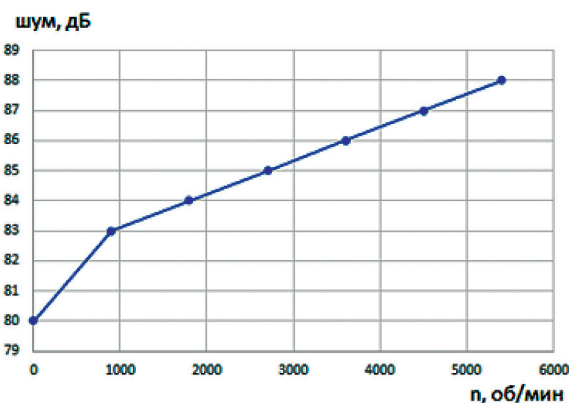


Рисунок 3. Оценка шума при изготовлении образцов

талей и раскручиванию болтовых соединений. Это в свою очередь приводит к более частому проведению технических осмотров и ремонту оборудования. К тому же высокий уровень шума ухудшает условия труда.

Заключение

В ходе проведенных исследований было установлено, что вибрационное воздействие на процесс экструзии оказывает значительное влияние на физико-химические и органолептические характеристики получаемых пищевых продуктов. Включение

вибрационного воздействия в этот процесс позволяет оптимизировать параметры экструдирования, что в свою очередь ведет к повышению качества конечного продукта. Параметры, связанные с вибрацией, такие как частота и амплитуда, определяют степень их воздействия, что важно учитывать при разработке технологий производства. В ходе эксперимента наблюдалось повышение однородности текстуры готового продукта при увеличении частоты вибрации, что значительно влияет на органолептические показатели. Продукты, подвергнувшиеся вибрационной экструзии, имели более ярко



выраженные характеристики, такие как цвет, запах, текстура и вкус, что делает их более привлекательными для потребителей. Более того, использование вибрационного оборудования в экструдере позволило добиться оптимального соотношения между термическим и механическим воздействием, что в свою очередь привело к улучшению физико-химических показателей: увеличению содержания питательных веществ, улучшению усвояемости и увеличению сроков хранения продуктов. На основе проведенного анализа можно сделать вывод о том, что применение вибрации в процессе экструзии представляет собой инновационный подход, который помогает достигнуть более высокого уровня качества и конкурентоспособности продуктов на рынке производства кукурузных трубочек. Отмечается, что при использовании вибрации требует-

ся оптимизировать подбор частоты воздействия с учетом уровня шума

Источники

1. Баранова Н.А. Влияние технологии на качество снеков из кукурузы // Научно-технические ведомости. 2020. Т. 14. С. 45–50.
2. Лисов О.Г. Вибрационные технологии в пищевой промышленности. СПб.: Наука, 2021. 320 с.
3. Яковлева Л.Р. Инновационные подходы в производстве снеков // Актуальные проблемы пищевой науки. 2020. С. 122–126.
4. Яременко В.И. Применение вибрационных технологий в агропромышленности // Аграрные системы. 2021. Т. 10. С. 78–84.

References

1. Baranova N.A. The influence of technology on the quality of corn snacks // Scientific and Technical Bulletin. 2020. V. 14. PP. 45–50.
2. Lisov O.G. Vibration Technologies in the Food Industry. St. Petersburg: Science, 2021. 320
3. Yakovleva L.R. Innovative Approaches in the Production of Snacks // Relevant Problems of Food Science. 2020. PP. 122–126.
4. Yaremenko V.I. Application of vibration technologies in farming industry // Agrarian Systems. 2021. V. 10. PP. 78–84.



Шифр: 2.5.5

УДК: 637.023

Усовершенствование процесса пастеризации молока с разработкой конструкции разделителя потока

Т.И. Сидорук*магистр, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске**e-mail: tanya.sidoruk.2002@gmail.com***Г.В. Короткова***канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

corrosion resistance and hygienic materials, as well as compatibility with other elements of the IR pasteurizer. The rationale for the use of 40X steel with food-grade rubber for the manufacture of the separator is presented, and the general design of this element is described. The article will be useful to dairy industry specialists seeking to improve technological processes and improve product quality.

Keywords: infrared pasteurizer, IR, pasteurization of milk, Flow separator Dairy production.

Аннотация. В данной статье рассматривается инновационный инфракрасный пастеризатор для молока, представляющий собой альтернативу традиционным пастеризационно-охладительным установкам. Особое внимание уделяется конструкции разделителя потока — ключевого элемента, обеспечивающего эффективную и равномерную пастеризацию. В статье подробно анализируются факторы, обусловившие выбор именно такой конструкции разделителя, включая гидродинамические характеристики, коррозионную стойкость и гигиеничность материалов, а также совместимость с другими элементами ИК-пастеризатора. Представлено обоснование использования стали 40Х с пищевой резиной для изготовления разделителя, а также описана общая конструкция этого элемента. Статья будет полезна специалистам молочной промышленности, стремящимся усовершенствовать технологические процессы и повысить качество продукции.

Ключевые слова: инфракрасный пастеризатор, ИК, пастеризация молока, разделитель потока, молочное производство.

Summary. This article discusses an innovative infrared pasteurizer for milk, which is an alternative to traditional pasteurization and cooling plants. Particular attention is paid to the design of the flow separator — a key element that ensures efficient and uniform pasteurization. The article analyzes in detail the factors that determined the choice of this particular separator design, including hydrodynamic characteristics,

Пастеризатор — важная и необходимая единица оборудования в производстве молока. Пастеризация обеспечивает уничтожение патогенных бактерий и увеличивает срок хранения сырья.

Нагрев сырья традиционно проводят в пастеризационно-охладительных установках. Замена традиционного оборудования — один из шагов на пути совершенствования технологического процесса. Инфракрасный пастеризатор (ИК-пастеризатор) — современная альтернатива для подготовки качественного сырья.

В данной статье рассматривается ИК-пастеризатор, состоящий из разделителя потока, змеевиков, изготовленных из кварцевого стекла, покрытых токопроводящей пленкой.

Разделитель потока в проектируемом пастеризаторе служит для разделения единого потока на расчетное количество труб.

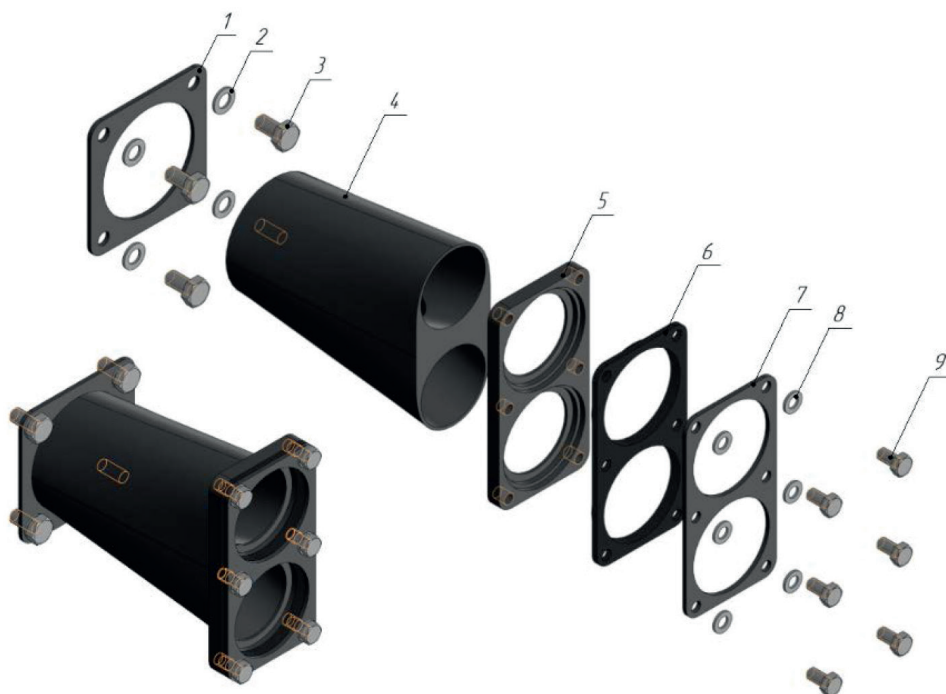
Выбор конструкции разделителя потока в ИК-пастеризаторе обусловлен рядом факторов, которые влияют на эффективность процесса пастеризации молока. Далее рассматриваются основные причины, которые обусловили выбор именно такой конструкции разделителя потока.

Гидродинамические характеристики. Конструкция разделителя потока с переменным сечением была выбрана из-за ее способности обеспечивать равномерное распределение потока молока и минимизировать потери давления.

Коррозионная стойкость и гигиеничность. Предложено изготовление основных элементов конструкций проектируемой детали из стали мар-

ки 40Х с изолирующей прокладкой из пищевой резины. Эти материалы при контакте с сырьем не изменяют его состав.

Конструкция разделителя потока (см. рисунок) была выбрана с учетом совместимости с другими элементами ИК-пастеризатора.



Разделитель потока:
1 – фланец; 2, 8 – шайба; 3, 9 – болт; 4 – тройник; 5 – направляющая; 6 – прокладка; 7 – прижимная пластина

При конструировании оборудования пищевого производства необходимо учитывать производительность предприятия в целом и машин и аппаратов в частности.

В соответствии с объемной производительностью по ГОСТ 2142-90 выбирается кварцевая трубка с нужным диаметром и определяется количество трубок для разделителя потока, обеспечивающих необходимый расход продукта, по формуле:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{\text{нар}} \cdot L}$$

где L – длина труб, м;

$d_{\text{нар}}$ – наружный диаметр трубы, м;

F – площадь трубы, м².

По результатам расчетов подбирается количество ветвей внутри разделителя потоков и диаметр отверстий в направляющей.

Диаметр отверстия для фланца определяется по формуле:

$$D = \sqrt{d_{\text{вн}}^2 + d_{\text{вн}}^2},$$

где $d_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр трубы, выбранной по ГОСТ 2142-90, мм;

Проектируемый узел, таким образом, имеет одно входное отверстие диаметром 79 мм и два выходных отверстия диаметром 56 мм в предназначен для соединения с кварцевыми трубками, которые соединяются с трубопроводом сырья.

Использованные источники

1. Голубева Л.В., Справочник технолога молочного производства. СПб.: ГИОРД, 2005. 272 с.
2. Бредихин С.А., Космодемьянский Ю.В., Юрин В.Н. Технология и техника переработки молока. М.: Колос, 2001. 400 с.

3. Горбатюк В.И. Процессы и аппараты пищевых производств. М.: Колос, 1999. 335 с.

4. Сидорук Т.И. Расчет основных характеристик инфракрасного пастеризатора: Материалы XXI Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика»: В 3 т. Т. 3. Секция 6. Смоленск, 2024. 276 с.

References

1. Golubeva L.V., Handbook of a Dairy Production Technologist. SPb.: GIORD, 2005. 272 p.

2. Bredikhin S.A., Kosmodemyansky Yu.V., Yurin V.N. Milk Processing Technology and Equipment. Moscow: Kolos, 2001. 400 p.

3. Gorbatyuk V.I. Food Production Processes and Equipment. Moscow: Kolos, 1999. 335 p.

4. Sidoryuk T.I. Calculation of the Main Characteristics of an Infrared Pasteurizer: Proceedings of the XXI International Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates «Information Technology, Energy and Economics»: In 3 vols. Vol. 3. Section 6. Smolensk, 2024. 276 p.

Современные возможные угрозы качеству экосферы земли

В.В. Алпатов

*Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова Росгидромета
e-mail: V_alpatov@mail.ru*

И.Ф. Крестников

*Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова Росгидромета
e-mail: krestnikov.igor@gmail.com*

И.А. Сосунова

*д-р социол. наук, профессор; Академия проблем качества
e-mail: sossunova@gmail.com*

Аннотация. В статье рассматриваются проблемные вопросы, связанные с современными угрозами как природного, так и техногенного характера. Рассмотрена также оценка социумом социальных аспектов этой проблемы.

Ключевые слова: экосфера Земли, околоземное космическое пространство, солнечная активность, ядерная энергетическая установка, микрофлора, качество экосферы.

Summary. The article discusses problematic issues related to modern threats of both natural and man-made nature. The assessment of the social aspects of this problem by the society is also considered.

Keywords: Earth's ecosphere, near-Earth outer space; solar activity; nuclear power plant; microflora.

Актуальность проблемы

В последнее время значительно возросло количество и масштабы угроз человечеству. В первую очередь это угрозы естественного происхождения. Существуют также реальные угрозы техногенного характера. Все имеющиеся угрозы (кроме падения метеоров) в настоящее время мировыми средствами массовой информации обосновываются изменениями климата. Абсолютно все сейчас списывают на изменения климата. Это, безусловно, коммерческий проект, такой же, как в свое время

бездоказательное воздействие фреонов на озоновый слой Земли. В настоящее время за изменение климата «назначены» виноватыми парниковые газы техногенного происхождения. На самом деле изменение климата обусловлено вариациями солнечной активности, изменением орбиты Земли, происходящими внутри Земли процессами (прецессия оси наклона Земли, перемещение магнитных полюсов, снижение температуры твердого земного ядра, возрастание вулканической активности и т.д.), изменением температуры Мирового океана (в том числе изменением температуры и направлений движений океанических течений), а также другими естественными причинами. При этом техногенное воздействие на климат по своему вкладу находится почти на последнем месте.

Угрозы природного характера

Космическая погода – это совокупность явлений в межпланетном пространстве, которые происходят в результате изменений на Солнце. За последнее десятилетие в обществе неуклонно растет осознание того факта, что космическая погода представляет собой существенную угрозу технологической инфраструктуре, например, она может приводить к возникновению различных нештатных ситуаций: повреждению линий электропередачи, коррозии нефте- и газопроводов и т.д. Ярким примером таких технологий является загоризонтная высокочастотная КВ-радиосвязь. Рентгеновские вспышки могут создавать серьезные проблемы для точного позиционирования и навигационных служб. Вспышки на Солнце влияют на навигационные службы на срок до нескольких часов, что приводит к критическим ситуациям в различных навигационных приложениях. Эти энергичные протоны, вызванные вспышками, потенциально могут достичь Земли и представлять угрозу для воздушных судов, эксплуатируемых в полярных регионах, из-за ухудшения возможностей высокочастотной связи. Солнечная активность является причиной появления магнитных бурь, влияющих на самочувствие человека.

Самолеты, летающие на обычных высотах коммерческих и корпоративных авиалиний, постоянно подвергаются воздействию заряженных частиц высокой энергии и вторичных нейтронов космического происхождения. Эти типы частиц, известные как галактические космические лучи (ГКЛ), кото-



рые возникают за пределами нашей Солнечной системы, и частицы солнечной энергии (СЭП) могут влиять на микроэлектронные системы самолетов и здоровье членов экипажа и пассажиров авиакомпаний.

Извержения вулканов. Извержение вулкана относится к теллурически опасным явлениям. Извержения могут сопровождаться землетрясениями. Большинство из вулканов находится в зонах контакта литосферных плит.

Субдукция литосферных плит. Сдвигка литосферных плит приводит к серьезным последствиям. В результате постоянного перемещения вещества в недрах Земли на отдельных участках литосферы накапливается напряжение. Оно может вызвать резкое сотрясение толщ горных пород от глубин до самой поверхности – *землетрясение*. Ежегодно на земном шаре фиксируется более 100 000 землетрясений, из них 20 очень сильных, катастрофических. В последние десятилетия, к сожалению, стали возможны *техногенные землетрясения*.

Крупные подводные землетрясения на границах тектонических плит обычно вызывают *цунами*. Большинство цунами происходит в тихоокеанском «Огненном кольце», геологически активной области, где тектонические сдвиги делают вулканическую деятельность и землетрясения обычным явлением. Другие причины цунами включают подводные или наземные извержения вулканов, оползни или крупные метеориты, падающие в океан.

Тайфуны. Циклоны. Ураганы. Зона активности тайфунов, на которую приходится третья часть общего числа тропических циклонов на Земле, заключена между побережьем Восточной Азии на западе, экватором на юге и линией перемены даты на востоке. Повторяемость тайфунов больше, чем тропических циклонов в любом другом районе земного шара. Ураган возникает внезапно в областях с резким перепадом атмосферного давления. Ураган может захватить территорию в диаметре до нескольких сотен километров и способен перемещаться на тысячи километров.

Природные явления геологического происхождения. Наводнение – это значительное затопление местности в результате подъема уровня воды в реке, озере или море в периоды снеготаяния, ливней, ветровых нагонов, при заторах и зажорах. *Оползни* – это скользящее смещение масс горных пород вниз по склону возвышенности под влиянием силы тяжести. Причины возникновения могут быть естественно-природные и антропогенные. *Сели* – стремительный бурный поток воды с большим содержанием камней, песка, глины и других материалов. Причинами могут быть интенсивные и продолжительные ливни, быстрое таяние снега

и ледников, землетрясение и вулканическая деятельность. *Снежная лавина.* Причинами являются выпавшее количество осадков, высота снежного покрова, температура и влажность воздуха, скорость и направление ветра.

«Волны-убийцы». Это внезапно возникающие и также внезапно пропадающие волны высотой до 25 метров. Причина их появления пока не выяснена.

Смерчи (торнадо). Это восходящий вихрь из чрезвычайно быстро вращающегося в виде воронки воздуха огромной разрушительной силы, в котором присутствуют влага, песок и другие взвеси. Торнадо может возникнуть практически в любом уголке планеты, кроме горных и полярных районов.

Изменение направлений и температуры океанических течений. Мировой океан играет ключевую роль в накоплении и переносе тепловой энергии по всей планете. Массивные потоки океанических течений – важнейший компонент в перераспределении тепла между океаном, сушей и атмосферой.

Таяние вечной мерзлоты. Больше половины площади нашей страны покрыто вечной мерзлотой. Таяние вечной мерзлоты – это углеродная бомба замедленного действия. Запасы углерода, долгое время запечатанные во льдах, теперь просачиваются наружу. Заполярье содержит около 1700 млрд т органического углерода, что почти вдвое превышает количество углерода, уже присутствующего в атмосфере. Метан задерживается в атмосфере всего на 12 лет, у CO_2 этот срок может доходить до сотни лет. Однако парниковый эффект метана более мощный, примерно в 25 раз сильнее, чем у CO_2 .

Засухи. Природные пожары. Пылевые бури. Они возникают в результате ряда взаимосвязанных прямых (природных) и косвенных (антропогенных) факторов. К природным причинам относятся климат (скорость ветра, его направление, температура воздуха и т.д.), почва (тип, состав и т.д.), растительность (тип, плотность и т.д.) и форма рельефа. На антропогенные причины приходится примерно 25% глобальных выбросов пыли.

Падение природных космических тел. Опасности, угрожающие человеку из космоса, вполне возможны. Это падение метеоритов, комет, астероидов. В настоящее время известно около 300 опасных космических тел, которые могут пересекать орбиту Земли. Всего по прогнозам астрономов в космосе существует около 300 тыс. астероидов и комет. Ежедневно в атмосфере Земли сгорает около 180 тыс. т метеорного вещества, из них 5–6 т долетает до поверхности Земли. Серьезную угрозу представляют метеориты диаметром от 10 м. В основном они прилетают из пояса астероидов (между орбитами Марса и Юпитера) и из пояса Койпера (за

орбитой Плутона). Он расположен за орбитой планеты Нептун, и в нем уже обнаружено несколько сотен малых планет. Среди них найдено несколько астероидов с размерами более 1000 километров. Так как эти пояса лежат в плоскости эклиптики, то наблюдение за ними и прогнозирование опасного сближения с Землей возможно. Однако другими источниками метеоров являются облако Оорта и космическое пространство между солнечными системами, контроль которого в настоящее время проблематичен. Кроме механического воздействия метеоритов возможно попадание в биосферу Земли бактерий и вирусов внеземного происхождения.

Природные явления биологического происхождения. При биорисках возможна угроза существованию людей, животных, сельскохозяйственных растений. Около 16 млн детей и молодых людей ежегодно умирают во всем мире от инфекционных болезней. При этом 80% от болезней, от которых не имеется вакцин. Проблема биологической безопасности – это наукоемкая область знаний, где нужны достижения эпидемиологии, микробиологии, иммунологии, биотехнологии и других наук.

Основные техногенные угрозы

Загрязнение окружающей среды промышленностью, транспортом, сельскохозяйственным производством. Проблема загрязнения окружающей среды ежедневно обсуждается в средствах массовой информации, и нет смысла на ней останавливаться.

Загрязнение Мирового океана пластиком и всей природной среды микрочастицами пластика. Это самая актуальная экологическая проблема. За последние 50 лет пластик стал самым популярным упаковочным материалом для пищевых продуктов. Пластиковые отходы накапливаются на мусорных полигонах. В Тихом океане сформировалось устойчивое крупное скопление пластикового мусора – Большое Пластиковое Пятно (рис. 1).



Рисунок 1. Распространение пластика в Мировом океане

Люди производят примерно 200 млрд т пластика ежегодно. Только 7% этого количества перерабатывается, а 10% в конечном итоге загрязняет океан. Самая большая угроза, связанная с пластиками, заключается в следующем. Под влиянием факторов среды пластиковые материалы крошатся, образуя вездесущие мельчайшие частицы, объединяемые названием «микропластик». Проблема потребления микропластика, остатки которого ученые обнаруживают в питьевой воде и тканях живых существ, радикальных решений не находит в связи с увеличением масштабов производства и потребления полимеров.

Влияние «зеленой энергетики». При рассмотрении преимуществ «зеленой энергетики», как правило, рекламируют ее конечный продукт, например электромобили. Да, они сами по себе экологически чистые. Но откуда они берут электроэнергию? Ее дают ТЭС, АЭС и иные, то есть не «зеленые». А кто обнародовал ущерб природе при добыче лития и кобальта для их электрических батарей? *Ветро-вые электрогенераторы.* Мало того, что при работе они генерируют инфразвук, так каждые 10 лет их 30-метровые лопасти надо заменять. Сегодня те лопасти, которые не используются повторно или не сжигаются, в идеале для регенерации энергии, оказываются на свалке.

Литий. Его соединения и сплавы критически необходимы для отраслей автопрома, авиастроения, металлургии, микроэлектроники, химии и др. Он особенно важен при производстве аккумуляторных батарей большой емкости. Этот металл используется даже для производства психотропных препаратов в медицинских целях. Помимо этого литий необходим в тяжелой промышленности: там его используют для выплавки и легирования алюминия, повышения пластичности, прочности и восстановления металлов. А еще он нужен в ядерной энергетике. Литий – единственный доступный источник получения трития, также он применяется при изготовлении стержней, регулирующих

систему защиты реактора. Лития на Земле более чем достаточно – многие миллиарды тонн, которые человечество не сможет потребить и за тысячи лет при самом бурном развитии промышленности. Для добычи материала требуется огромное количество воды. Например, чтобы добыть одну тонну металла, необходимо израсходовать около двух миллионов литров. Происходит истощение водных запасов для населения. Из-за нехватки влаги территории лишаются пастбищной травы, что создает угрозу существования



фермерских хозяйств. Важнейшие минералы, добываемые в наши дни, – *медь и кобальт*. Именно благодаря кобальту развиваются мировые высокотехнологичные индустрии. Шахты опустошили ландшафт – были вырублены миллионы деревьев, сильно загрязнен пылью и песком воздух, вода отравлена ядовитыми отходами рудных заводов. Экологичность добычи кремния для солнечных батарей тоже сомнительна.

Нарушение природных экосистем. Кроме массовой вырубki лесов еще одной проблемой является осушение болот. Дело в том, что 1 км² болот выделяет в несколько раз больше кислорода и поглощает во столько же раз больше углекислого газа, чем 1 км² леса. Болота являются на Земле вторым после океанического фитопланктона источником кислорода.

Пожары. Наряду с пожарами природного происхождения происходит множество пожаров, причиной которых является человеческий фактор.

Чрезмерное применение пестицидов. Это старая проблема. Нет смысла на ней останавливаться.

Аварии на АЭС и на объектах хранения радиоактивных материалов. В соответствии с рекомендациями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) для оценки значимости с точки зрения безопасности событий, происходящих на ядерных установках и объектах, используется Международная шкала ядерных событий ИНЕС (*International Nuclear Events Scale, INES*).

Только две аварии на атомных станциях в мире были квалифицированы по самому высокому, седьмому, уровню опасности – это авария, которая произошла 26 апреля 1986 г. на Чернобыльской атомной станции, и авария на атомной станции «Фукусима» 11 марта 2011 г. Авария на Чернобыльской АЭС – одна из крупнейших катастроф в истории мирного атома, заставившая мир по-новому взглянуть на развитие технического прогресса. По различным оценкам в окружающую среду в результате аварии произошел выброс около 380 млн кюри радиоактивных веществ, в том числе изотопов урана, плутония, йода-131, цезия-134, цезия-137, стронция-90.

Многие эксперты склоняются к мнению, что авария на АЭС «Фукусима-1» вызвана не только землетрясением, как единственной причиной. Факты говорят, что сама станция достаточно успешно выдержала сейсмические толчки. Уже четвертый по счету этап сброса радиоактивной воды с аварийной атомной станции «Фукусима-1» в открытый океан завершен в марте 2024 г. Лили непрерывно три недели. Охлаждать тлеющее с момента аварии топливо, а значит, куда-то девать зараженную воду, придется еще минимум 30 лет. Последствия

непредсказуемы. Японские эксперты уверяют, что слив воды с «Фукусимы-1» безопасен для людей и океана. На данный момент в металлических емкостях на территории АЭС «Фукусима-1» хранится около 1,25 млн т воды. Известно, что в ней содержатся опасные для людей элементы, в том числе стронций, цезий и дейтерий. Гипотетически в процессе предстоящей очистки они должны исчезнуть, но уже известно, что в жидкости наверняка останутся изотопы трития. Их удалить технически невозможно.

Аварии на промышленных и сельскохозяйственных производствах, при транспортировке токсичных продуктов. Наиболее известна Бхопальская катастрофа – крупнейшая по числу жертв техногенная катастрофа в современной истории, происшедшая в результате аварии на химическом заводе, принадлежащем американской химическо-промышленной корпорации *Union Carbide*, в индийском городе Бхопал (столице штата Мадхья-Прадеш). В ночь на 3 декабря 1984 г. из резервуара для хранения метилизоцианата произошел выброс 42 т этого высокотоксичного соединения. По различным данным, общее количество пострадавших оценивается в 150–600 тыс. человек, из них 3 тыс. погибло непосредственно в момент катастрофы, еще 15 тыс. – в последующие годы умерло от последствий воздействия химикатов на организм.

Заражение почвы обедненным ураном в процессе военных действий. Основное военное применение обедненного урана – бронебойные снаряды. В ходе войны в Ираке в 2003 г. американские самолеты и танки выпустили почти 10 тыс. снарядов с обедненным ураном. Во время конфликта в Косово такие снаряды использовала авиация НАТО – в общей сложности было израсходовано 30 тыс. единиц. Обедненный уран и токсичные вещества, содержащиеся во взрывчатых веществах, могут увеличить риск развития рака, а также вызвать раздражение кожи и почечную недостаточность. Противники использования ураносодержащих боеприпасов указывали на высокую заболеваемость раком у американских солдат и у гражданских в зоне боевых действий, где использовались такие боеприпасы.

ГМО и целенаправленное локальное заражение природной среды токсичными химическими веществами в процессе военных действий. Миллионы людей по всему миру каждый день потребляют пищу, содержащую ГМО, несмотря на то, что ее безопасность для здоровья не оценивалась в необходимом объеме и долгосрочные последствия ее потребления неизвестны. Мы все являемся участниками одного большого эксперимента. Но его вряд ли можно считать научным, ведь никто

всерьез не занимался изучением влияния ГМО на организм человека. Исследования на людях-добровольцах не входят в обязательную процедуру доказательств безопасности ГМО. И даже если такие эксперименты проводятся некоторыми исследователями, то они являются краткосрочными и их результаты недоступны для общественности. Практически все исследования в области безопасности ГМО финансируются заказчиками – зарубежными корпорациями «Монсанто», «Байер» и др. На основании именно таких исследований лоббисты ГМО утверждают, что ГМ-продукты безопасны для человека. Однако это не внушает доверия независимым экспертам и общественности из-за очевидной предвзятости таких исследований.

Транснациональная корпорация *Monsanto* – лидер по производству и продажам семян трансгенных культур. В период с 1996 по 2012 г., по данным Международной службы оценки применения агробιοтехнологий (*International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications, ISAAA*), общая площадь посевов генно-модифицированных культур в мире выросла с 0 до 180 млн га. *Monsanto* фактически подсадила фермеров на свою продукцию, запрещая им повторно пересаживать приобретенные культуры. Корпорация *Monsanto* имеет давний опыт в производстве и поставке веществ, которые приводят к мутациям в организме человека. По данным самой компании, в период 1965–1969 гг. *Monsanto* была одним из основных подрядчиков, поставлявших армии США смесь «Эйджент Оранж» (*Agent Orange*), которую военные распыляли над территорией Вьетнама.

Западные СМИ признают, что спустя более 40 лет после окончания войны продукция корпорации *Monsanto* по-прежнему вызывает генетические мутации среди детей во Вьетнаме. *Monsanto* также производила и продавала инсектицид ДДТ, рекомбинантный бычий гормон роста rBGH, который стал темой для споров по поводу безопасности его употребления в пищу, а также подсластитель аспартам, который (как не сразу выяснилось) может вызывать рак.

Последствия захоронений химического оружия. После Второй мировой войны по согласованию немецкие химические боеприпасы были затоплены СССР в Балтийском, а союзниками – в Северном морях. Металлические оболочки со временем разрушаются.

Техногенные выбросы (в том числе при запусках космической техники). Обратим внимание только на долю ракетно-космической техники в этом процессе (табл. 1).

Таблица 1. Годовой техногенный выброс токсичных продуктов в мире

Источник выбросов	Количество выбросов, т
Общий мировой уровень	1 000 000 000
Автомобили	400 000 000
Самолеты	10 000 000
Ракеты-носители	10 000 (~0,1% выбросов самолетов)

Наиболее серьезное воздействие на окружающую среду в ракетно-космической деятельности происходит в процессе пусков ракет-носителей. Вклад пусков ракет-носителей в загрязнение биосферы можно оценить, сравнив долю выбросов продуктов сгорания ракетных топлив с общим объемом атмосферных выбросов предприятиями промышленности (табл. 2).

Таблица 2. Ежегодные выбросы озоноразрушающих компонентов в стратосфере, килотонны

Источник	Хлор	Вода	Водород	Окислы азота
Промышленность	300	–	–	–
Вулканы	100–1000	–	–	–
Естественный фон	75	1500	340	280
Ракетная техника	0,79	3,25	0,2	0,016

Следует заметить, что ежегодно в лабораториях промышленно развитых стран синтезируются и попадают в окружающую среду сотни ксенобиотиков со слабо изученными токсикологическими свойствами. На этом фоне влияние ракетно-космической деятельности на общую экологическую ситуацию на планете исчезающе мало и вряд ли станет заметным в обозримом будущем.

Выделение углекислого газа и метана сельскохозяйственными животными и населением. Эта проблема, как правило, экологами не рассматривается.

Попадание в биосферу наночастиц. Проблема новая. Полезное и негативное влияние наночастиц недостаточно изучены. Например, установлено, что они могут прерывать цепочки молекул ДНК. Исследования в области наночастиц и нанотехнологий за последние десятилетия заняли быстрорастущую нишу в научной системе. Из-за специфических свойств, присущих наноматериалам, они имеют большую тенденцию подвергаться клеточному поглощению, что может привести к биоаккумуляции и, как следствие, к неблагоприятным последствиям, в том числе к токсическому действию. Известно, что наноматериалы обладают большей



химической активностью по сравнению с их макроразмерными аналогами. Это может приводить к спонтанным мутациям из-за образования аддуктов ДНК или сенсibilизации гаптена связывания.

Целенаправленная разработка и попадание в окружающую среду активных биологических компонентов. 20 апреля 2010 г. на полупогружной нефтяной платформе сверхглубокого бурения южнокорейского производства, принадлежащей компании «Бритиш Петролеум» (BP), произошел взрыв, приведший к многомесячному выбросу нефти в воды Мексиканского залива. С апреля по сентябрь 2010 г. вытекло как минимум 5 млн баррелей нефти. Углеводородное пятно заняло площадь свыше 100 000 км², уничтожая все живое в своих границах. Более того, такое количество вязкой субстанции изменило циркуляцию океанских разнотемпературных вод, что привело к затуханию теплого течения Гольфстрим, которое непосредственно влияет на климатические изменения в Европе. Тогда нефтяная компания обратилась к ученым. Бактерия «Синтия» (*Mycoplasma laboratorium*) – штамм микоплазмы, выведенный в лабораторных условиях из генома *Mycoplasma genitalium*, является результатом работы команды ученых американского Института Дж. Крэйга Вентера, возглавляемой Нобелевским лауреатом Хэмилтоном Смитом. Бактерия «Синтия» была запущена в Мексиканский залив в 2011 г., где успешно справилась с нефтяными пятнами. Однако вскоре после этого американские СМИ начали сообщать о массовой гибели птиц, рыб и других морских обитателей из-за начавшихся у них процессов гниения внутренних органов. В дальнейшем начали поступать сообщения о летальных исходах и среди людей. Тогда виновником случившегося многие эксперты назвали именно «Синтию». Вместе с тем искусственная бактерия «Синтия» обладает способностью быстро размножаться, самовоспроизводясь и функционируя в клетках, в которые она внедряется. «Синтию» невозможно уничтожить антибиотиками. Какие могут быть глобальные последствия, если подтвердятся данные о смертоносности бациллы, можно только догадываться.

Сеть закрытых биолaborаторий США по всему миру насчитывает более 400 объектов, причем места их расположения и зоны возникновения новых эпидемических угроз совпадают. Сегодня под контролем Пентагона находится 336 лабораторий в 30 государствах вне национальной юрисдикции. Только на территориях, приграничных с Россией и Китаем, располагается порядка 60 объектов, модернизированных с 2005 г. на средства военного ведомства США.

Ангажированность (продажность) некоторых экологических организаций и ученых. Всемирный

обман мировой общественности нанятыми фирмой «Дюпон» «учеными» якобы разрушением озонового слоя Земли хлорфторуглеродными хладагентами. Вранье «ученых» о пользе в зубной пасте фтора и двуокиси титана. Рекламирование медицинских препаратов и вакцин без исследования отдаленных последствий их воздействия. Разработка лекарств, устраняющих симптомы болезней, а не лечащих причин.

Техногенные угрозы, связанные с эксплуатацией космической техники

Неуправляемое падение на Землю крупногабаритной космической техники. В наши дни с началом космической эры приходится связывать не только радужные перспективы научного, технического, экономического и социального развития, но и практически неизбежные негативные последствия освоения околоземного космического пространства. Причем обе стороны медали «За освоение космоса» играют значительную роль в земной цивилизации, хотя и с разными знаками. Что касается экологии космоса, то, строго говоря, и до 1957 г. околоземное пространство не было пустым. Порядка 40.000 ± 20.000 т метеороидов входит в атмосферу Земли каждый год. Но метеороиды, астероиды и другие космические тела, вращающиеся по орбитам вокруг Солнца, если попадают в околоземное пространство, то быстро и однократно его пронизывают и либо покидают, либо сгорают в атмосфере. Лишь некоторые из них редко достигают поверхности Земли.

В отличие от них искусственные космические объекты, будучи выведены на орбиты, обычно надолго остаются в околоземном пространстве, а по завершении своей функциональной миссии становятся (а точнее, продолжают оставаться) постоянной угрозой столкновения с другими космическими объектами, в том числе с действующими космическими аппаратами.

Первый и пока единственный опыт полностью успешного управляемого свода с околоземной орбиты крупного космического объекта был получен во время завершения существования *орбитальной станции «Мир»*. Затоплению станции «Мир» предшествовало много спекуляций и нереализуемых предложений о возможности продолжения полета станции. Станция неуклонно снижалась за счет торможения в атмосфере, скорость снижения росла.

Затопление станции прошло в три этапа. 23 марта 2001 г. 131-тонный орбитальный комплекс «Мир» вошел в плотные слои атмосферы, распавшись на 5 крупных фрагментов и сотни более мелких осколков, прошел над архипелагом Фиджи на

высоте около 80 км, оставляя за собой длинные полосы инверсионного следа, и упал в южной части Тихого океана в районе точки Немо.

МКС (рис. 2), используемая как многоцелевой космический исследовательский комплекс, эксплуатируется с конца 1998 г. по настоящее время. В случае принятия решения об окончании эксплуатации станции планируется сведение ее с орбиты. В данное время согласовано финансирование и эксплуатация МКС по 2024 г. включительно, рассматривается дальнейший цикл продления до 2028 или 2030 г.

Станцию, как и другие космические объекты, должны затопить в Тихом океане, выбрав для этого несудоходный район. По предварительным оценкам, несгоревшими останутся около 120 т обломков. Траектория снижения МКС с высоты 400 км может состоять из нескольких этапов. Когда она достигнет 270-километровой орбиты, время снижения до поверхности Земли займет примерно месяц. Разделение станции поэтапно на высотах в 110, 105 и 75 км расширит зону падения обломков до 6000 км².

Масса МКС (в настоящее время) более 420 т, а ее внутренний объем около 1000 м³. Скорость, с которой станция движется по своей орбите, составляет около 27 700 км/ч. Высота орбиты постоянно изменяется. За счет трения о разреженную верхнюю атмосферу происходит постепенное торможение и потеря высоты. МКС в настоящее время имеет массу значительно больше орбитального комплекса «Мир», поэтому проблема ее утилизации на порядок сложнее. Здесь имеет значение не только масса МКС, но и ее геометрические параметры. Если станция «Мир» состояла из жестко состыкованных равнозначных по массе модулей и их разделение при входе в атмосферу произошло на достаточно небольшой высоте, то схема жесткости всего конгломерата МКС принципиально отлична и ее дефрагментация при входе в плотные слои ат-

мосферы произойдет гораздо раньше. Это обусловлено в первую очередь большой площадью (миделем, то есть поперечным сечением) конструкции солнечных батарей. Отделение солнечных батарей безусловно произойдет на более высокой орбите, что неизбежно увеличит площадь разброса (падения) фрагментов МКС. И еще не факт, что остатки конструкции солнечных батарей упадут в тот же расчетный район затопления основной конструкции МКС.

Таким образом, при сходе с орбиты крупных космических объектов возникает угроза не только падения их фрагментов на конкретную обитаемую территорию (хотя вероятность такого события мала), а также угроза попадания в биосферу Земли микроорганизмов-мутантов. Риски возможных событий должны быть просчитаны при разработке проектов увода с орбиты (утилизации) крупногабаритных КА и с учетом «космической погоды» в планируемое время операции (солнечная активность, плотность верхней атмосферы и т.д.).

Аварийное падение ядерной энергетической установки космического аппарата в среду обитания человека. Разработка и эксплуатация любой техники (в том числе космической) не исключает аварии. Особо следует отметить серию катастроф с КА, имевшими на борту радионуклиды. Наиболее известная произошла 24 января 1978 г. в северо-западных районах Канады упал советский спутник радиолокационной разведки «Космос-954» с ядерной энергетической установкой (ЯЭУ) на борту. Контроль над спутником наземными службами управления был потерян в конце октября 1977 г. по вероятной причине сбоя корректирующего двигателя с отказом системы увода на долгоживущую орбиту. В результате атмосферного торможения спутник начал снижаться. В конце января 1978 г. при прохождении плотных слоев земной атмосферы произошло разрушение КА и поверхности Земли достигли лишь некоторые его фрагменты,

что вызвало радиоактивное загрязнение части северо-западных территорий Канады (рис. 3): всего на территорию площадью около 124 000 км² выпало около сотни радиоактивных обломков общей массой 65 кг; активность некоторых из них составляла до 200 Р/ч.

В результате зондирования и поиска радиоактивных фрагментов в районе падения (обозначенного контуром на рис. 3) было собрано в общей сложности более 90% радиоактивных продуктов деления из реактора спутника. Из-за малой заселенности территории (плотность населения на указанной территории составляла

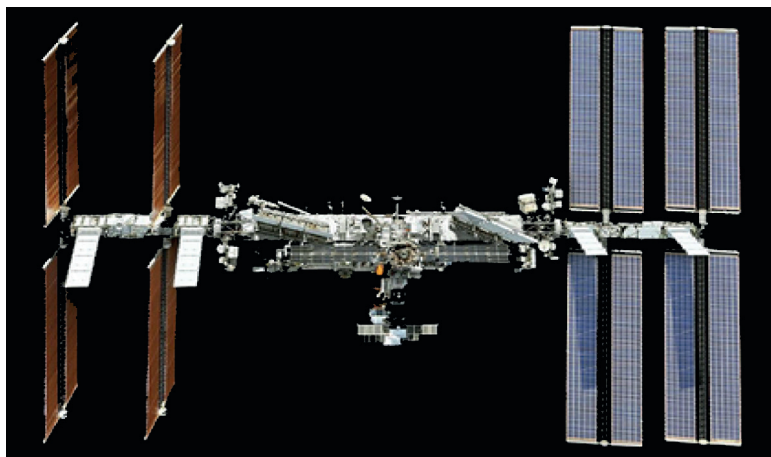


Рисунок 2. Международная космическая станция

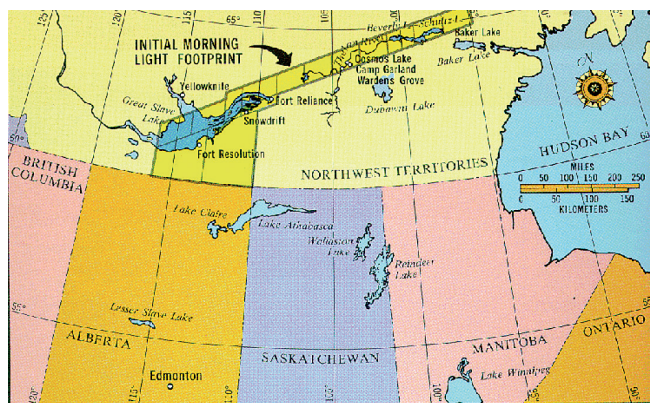


Рисунок 3. Район падения фрагментов спутника «Космос-954» с ЯЭУ «Бук» на территорию Канады

примерно 1 человек на 28 км²) и большого разброса радиоактивных осколков вероятность радиоактивного поражения людей была минимальна; быстрому поглощению радиации также способствовало большое количество рек и озер в районе падения.

Таким образом, возможность аварий КА с ЯЭУ на борту в перспективе не исключается. Причем упасть они могут в любую точку земной поверхности. И к этому надо быть готовыми. Риск радиационного воздействия при аварийном падении реактора может составить порядка $10^{-6} \dots 10^{-7}$, то есть менее предела индивидуального пожизненного риска (5×10^{-5}) и уровня пренебрежимого риска (10^{-6}) по классификации НРБ-99/2009 для техногенного облучения населения, которые установлены на основе рекомендаций МКРЗ, и что означает по выводам МКРЗ практически отсутствие ущерба здоровью.

Таким образом, вероятность попадания фрагментов ЯЭУ в биосферу Земли незначительна, но однако она возможна. Для этого должны одновременно случиться отказ систем КА с ЯЭУ и отказ систем безопасности самой ЯЭУ, что маловероятно. Аварийный КА с ЯЭУ (как отечественный, так и зарубежный) может в этом случае упасть в любой точке территории России. С увеличением количества запускаемых КА с бортовыми ЯЭУ вероятность их аварийного падения неизбежно возрастет.

Перспективы использования ядерных источников энергии (ЯИЭ) в космическом пространстве, включая осуществление энергоемких и долговременных операций (межорбитальные перелеты и полеты в дальнее космическое пространство, энергообеспечение орбитальных космических аппаратов, межпланетных зондов и напланетных станций как объектов космической техники), обуславливаются требуемым уровнем электрической мощности объекта космической техники. К числу ЯИЭ относятся радиоизотопные источники тепловой или электрической энергии, реакторные ядерные энергетические установки и базирующиеся на них ядерные

энергодвигательные установки, а также ядерные ракетные двигатели. Каждый из этих источников энергии предназначен для использования при решении вполне определенных задач.

Появление космических ЯЭУ высокой мощности позволяет приступить к созданию принципиально новых межорбитальных транспортных средств на основе электрореактивных двигательных установок с удельным импульсом, в 10 раз и более превышающим импульс традиционных жидкостных ракетных двигателей, что дает возможность увеличить массу доставляемого на энергоемкие орбиты (в том числе геостационарные орбиты, ГСО) полезного груза в 2–4 раза при снижении удельной стоимости транспортирования в 1,5–2 раза по сравнению с традиционными средствами.

Каждый из вариантов построения солнечной электростанции на основе солнечной энергетической установкой (СЭУ) или ЯЭУ имеет ряд определенных достоинств и недостатков. Необходимо отметить, что по мере удаления от Солнца существенно снижается плотность мощности солнечного излучения, что негативно сказывается на выходной мощности солнечной батареи (рис. 4).

Перспективы использования ядерных источников энергии в космическом пространстве, включая осуществление энергоемких и долговременных операций, обуславливаются требуемым уровнем электрической мощности объектов космической техники, предназначенных для выполнения перечисленных задач ближайшей и отдаленной перспектив.

В 2001 г. предприятиями Росавиакосмоса начата разработка ключевых элементов системы энергодвигательного обеспечения пилотируемой марсианской экспедиции. Прорабатываются также варианты напланетных ЯЭУ для реализации новой перспективной космической технологии – организации производства топлива из местных ресурсов.

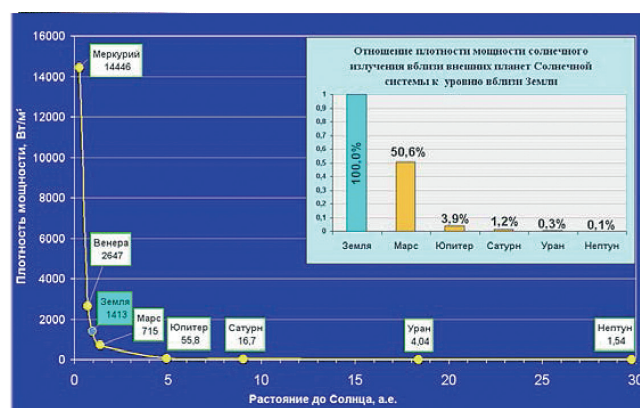


Рисунок 4. Максимальная плотность мощности солнечного излучения вблизи планет Солнечной системы

Создание элементов буксира на основе ядерной энергоустановки мегаваттного класса ведется в России с 2010 г. В 2019 г. на Международном авиакосмическом салоне (МАКС) впервые представили его макет. Ядерный буксир (рис. 5) будет предназначен для полетов к Луне и планетам Солнечной системы.

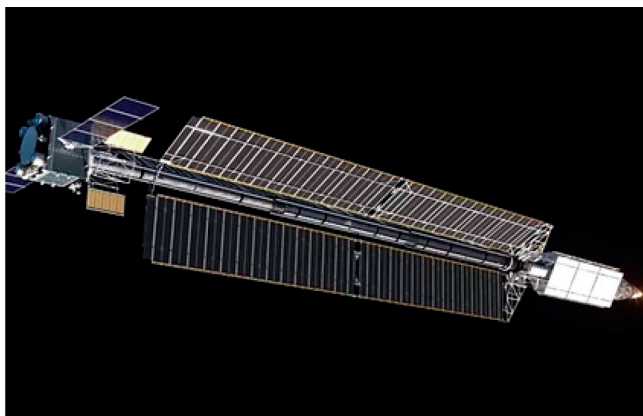


Рисунок 5. Ядерный буксир «Зевс»

Необходимо отметить, что для ряда задач, характеризующихся невысоким энергопотреблением на борту космических аппаратов, эксплуатируемых на значительном удалении от Солнца (за орбитой Юпитера), когда использование СЭУ становится малоэффективным и практически бесполезным, единственной альтернативой становится применение радиоизотопных термоэлектрических генераторов.

Радиоизотопные ядерные источники энергии уже нашли широкие практические применения на орбитальных космических аппаратах, в составе межпланетных зондов для полетов к Марсу, Юпитеру, Сатурну, Плутону, для питания научного оборудования, располагаемого на поверхности Луны, и на марсоходе. Опыт их применения на космических аппаратах в США показал, что они по простоте выполнения, массогабаритным характеристикам, ресурсу, надежности являются наилучшим источником электроэнергии для космической техники в диапазоне электрической мощности от долей ватт до сотен ватт, и в будущем следует ожидать дальнейшего расширения масштабов их использования.

Проведенный анализ показал практическую безальтернативность ядерной энергетики при решении также задачи создания геостационарных КА нового поколения с повышенными требованиями к уровню массы (более 10 т) и энергопотребления (более 50 кВт). К таким КА относятся многофункциональные спутники связи и спутники радиолокационного наблюдения.

По результатам проведенных исследований, КА на основе ЯЭУ и ЭРДУ являются также безальтернативным средством для создания межпланетных исследовательских КА нового поколения, позволяющих решать качественно новые баллистические и научные задачи. Например, ядерный ТЭМ совместно с ракетой-носителем «Ангара-5» обеспечит доставку КА массой 8–10 т с полезной нагрузкой до 2 т на орбиту вокруг Европы, что позволит осуществить радиолокационное зондирование ледяного покрова этого естественного спутника Юпитера.

Таким образом, объективно необходимыми являются следующие направления развития космической техники с ЯЭУ:

- 1) *ядерные межорбитальные буксиры для:*
 - доставки космических аппаратов с опорной орбиты (200–220 км) на геостационарную или высокоэллиптическую;
 - доставки космической техники с опорной орбиты (200–220 км) на окололунную;
 - спуска неработающих КА и их фрагментов (космического мусора) с их фактических орбит в область самоочистки ОКП (ниже 600–700 км);
- 2) *транспортно-энергетические модули для:*
 - работы в составе окололунных орбитальных станций;
 - работы в составе КА для полета на Марс;
 - работы в составе околomarсианских орбитальных станций;
- 3) *автоматические КА для исследования ОКП и объектов Солнечной системы;*
- 4) *напланетные энергетические модули для обеспечения работы на Луне, Марсе и др.*

Социальные аспекты современных техногенных угроз

В настоящее время широко распространилось мнение о том, что вследствие активной космической деятельности нанесен заметный ущерб окружающей среде в районах космодромов, ракетных полигонов, а также околоземному космическому пространству. А это значит, что в массовом сознании уже сформирован не совсем объективный взгляд на масштабы и формы экологического ущерба от воздействия ракетно-космической техники (РКТ).

Формирование общественного мнения по экологическим проблемам происходит под влиянием значительного числа объективных и субъективных факторов¹. Так, несмотря на уверения Центра управления полетами России о просчитанной тра-

¹ Сосунова И.А., Мамонов Н.Е., Крестников С.И. Российская космонавтика: социальная отдача и социально-экологические проблемы в зеркале общественного мнения. М.: РЭФИА, 2004.



ектории падения станции «Мир», власти многих стран Тихоокеанского региона призывали граждан не покидать свои дома в момент падения обломков: предполагалось, что крупные обломки могут не сгореть в атмосфере и упасть на сушу. В свое время Роскосмос предусмотрел все возможные сценарии развития событий и предложил всем третьим лицам, которым будет нанесен ущерб от падения станции, страховку в размере 200 млн долл.

Одной из первых о возможном падении обломков заявила Япония: министр по чрезвычайным ситуациям призвал граждан в течение 40 мин. (времени, когда станция проходила над территорией Японии) ни в коем случае не покидать свои дома, несмотря на минимальный риск падения обломков станции. Силы гражданской обороны Японии были приведены в повышенную боевую готовность.

К предельной осторожности призывали власти Новой Зеландии, обратившись к пилотам гражданской авиации и капитанам гражданских судов (в том числе и рыболовецких кораблей) с призывом воздержаться от путешествий по южной части Тихого океана. Как минимум два новозеландских рыболовецких судна находились в квадрате затопления станции, а их рыбаки отказывались покидать зону.

Также определенные меры предпринимали власти Австралии в лице министра по чрезвычайным ситуациям островных государств, Британского содружества и заморских территорий Франции, а также правительство Чили (фрагменты одной из станций типа «Салют» однажды упали в Андах). Тем не менее некоторые жители островов Фиджи специально вылетели на самолете, чтобы зафиксировать момент пролета обломков станции: среди них были и российские туристы. Часть островитян провела ряд религиозных ритуалов, надеясь, что обломки станции упадут на территорию Фиджи и государство получит право требовать от России обещанную страховку.

Окончательные координаты места падения станции были определены как 40 ю.ш. 160 з.д. Отклонение от предполагаемой точки падения – 47 ю.ш. 140 з.д. – составило 1500 км, а обломки были разбросаны в радиусе 100 км от итоговой точки падения². Таким образом, даже при управляемом спуске крупных космических аппаратов с орбиты возможны значительные отклонения точек падения обломков от расчетных.

Несмотря на то что жертв и разрушений не было, один из жителей города Тайчжун (Тайвань), не выдержав напряжения в связи с грядущим

крушением станции, за день до крушения станции сжег себя заживо на кладбище³. Таким образом, процесс затопления крупных космических аппаратов явно влияет на социум и может вызывать неадекватные реакции.

Основу подхода к изучению отражения экологической ситуации на социальном поведении и ориентациях населения составляют известные положения социологических теорий личности. Согласно им, личность является собой целостность социальных свойств человека, продукт общественного развития и включения индивида в систему конкретных социальных отношений путем активной предметной деятельности в обществе и коллективе.

Объективным проявлением состояния общественного мнения являются социальные действия, поступки и в конечном счете результаты общественной деятельности. Соответственно этому общественное мнение обладает рядом объективно измеряемых социальных характеристик, к числу которых в первую очередь относятся его распространенность, устойчивость, функциональность, наличие и авторитетность его субъектов и активных выразителей, а также предметом, вокруг которого происходит «кристаллизация» общественного мнения.

Особого внимания при прогнозировании реакции общественного мнения на космическую деятельность заслуживает проблема оценки населением экологического риска, то есть вероятности нанесения ущерба окружающей среде и здоровью населения в результате функционирования каких-либо объектов, возможности на них аварий и катастроф и т.п. Современный подход к оценке риска весьма уязвим при учете господства у населения индивидуального, личностного восприятия социально-этических проблем. В силу данных особенностей зачастую объекты космического комплекса с более высоким реальным уровнем экологического риска привлекают меньшее внимание населения, чем более безопасные объекты, которые в общественном мнении становятся источником социально-экологической напряженности.

Выводы

Дальнейшее освоение космоса (многократные полеты к Луне, создание окололунной орбитальной станции, полеты к Марсу, очистка околоземного космического пространства от «космического мусора» и т.д.) объективно без

² Mir Re-entry (англ.) Zarya. Soviet, Russian and International Space Flight.

³ Милкус А. (2001, 24 марта).

космических аппаратов с бортовыми ядерными энергетическими установками. При этом неизбежно не исключается вероятность их аварийного падения на Землю.

Масса находящихся на низких околоземных орбитах космических объектов постоянно возрастает. Кроме того, увеличивается мидель (поперечное сечение) космических объектов, что во время входа в плотные слои атмосферы увеличивает площадь возможного разброса фрагментов космических аппаратов при падении. Возможное попадание вместе с фрагментами космической техники в биосферу Земли микроорганизмов-мутантов является также реальной глобальной угрозой для биосферы Земли.

Подготовка к ликвидации последствий возможных аварий перспективной космической техники уже является задачей сегодняшнего дня. Учитывая возможность падения аварийных КА больших габаритов или с ЯЭУ на борту (как отечественных, так и зарубежных) в любой точке территории России следует к этому быть готовыми не только штатным формированиям Роскосмоса, но и МЧС России, Минобороны (РХБЗ) и др. Главное, это заблаговременно скоординировать взаимодействие организаций и ведомств. Безусловно, при прогнозе мест падения должна учитываться «космическая погода».

Использованные источники

Репин А.Ю., Алпатов В.В. «Космическая погода». Ее влияние на устойчивое развитие социума // Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции Российского общества социологов «Социальная коммуникация в современном мире». Москва, 22 декабря 2022 г. М., 2023. С. 512–522.

Robyn A.D. Fiori, Vickal V. Kumar, David H. Boteler, Michael B. Terkildsen. Occurrence rate and duration of space weather impacts on high-frequency radio communication used by aviation–J. Space Weather Space Clim., 12 (2022) 21, DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2022017>.

K. Andries J., Beck P., Berdermann J., Berghmans D., Cesaroni C., De Donder E., de Patoul J., Dierckxsens M., Doornbos E., et al. Space Weather Services for Civil Aviation–Challenges and Solutions. Remote Sens. 2021, 13, 3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183685>.

Hapgood M.A. 2011. Towards a scientific understanding of the risk from extreme space weather. Adv Space Res 47: 2059–2072, DOI: 10.1016/j.asr.2010.02.007.

Green L., Baker D. 2015. Coronal mass ejections: a driver of severe space weather. Weather 70: 31–35, DOI:10.1002/wea.2437.

Schrijver C.J., Kauristie K., Aylward A.D., Denardini C.M., Gibson S.E., et al. 2015. Understanding space weather to shield society: a global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. Adv Space Res 55: 2745–2807.

Алпатов В.В., Репин А.Ю. «Космическая погода» и экология Земли // Природно-ресурсные ведомости. 2021. № 5(488). С. 6.

Burns A.G., et al. The ionospheric and thermospheric response to CMEs: Challenges and successes // Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics 69.1-2 (2007): 77–85.

Barannikov Y.I., Barsukov O.A., Gavrilov P.F. (1987) Calculation of ionizing radiation levels along trajectories of high-altitude flights, JPRS Report Science Technology USSR Space, vol. 21, no. 2, pp. 102–109.

Beck P., Bartlett D., Bilski P., Dyer C., Flückiger E., Fuller N., et al. (2008). Validation of modelling the radiation exposure due to solar particle events at aircraft altitudes. Radiation Protection Dosimetry, 131(1), 51–58. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn238>.

Kirill Kholodkov, Igor Aleshin, Artem Arakelov, Vyacheslav Burov, Alexey Vasiliev, and Stanislav Ivanov (2021), Sino-Russian Space Weather Effort for Global Air Navigation Safety, Russ. J. Earth Sci., 21, ES4004, doi:10.2205/2021ES000774.

Алпатов В.В., Крестников И.Ф. Проблемные вопросы утилизации Международной космической станции // Использование и охрана природных ресурсов в России. 2019. № 4(160). С. 51–58.

Алпатов В.В., Крестников И.Ф., Сосунова И.А. Социальные аспекты проблемы утилизации транспортных космических систем // Качество и жизнь. 2021. № 1(29). С. 40–48.

Управление риском и снижение ущерба от чрезвычайных ситуаций, вызванных воздействием ракетно-космической техники на окружающую среду: Монография / А.Ю. Репин, В.В. Алпатов, П.Н. Ткаченко, И.А. Сосунова, С.С. Ежергин, Н.В. Соловьева, И.Ф. Крестников, Н.П. Соловьев. Химки: АГЗ МЧС России, 2020. Т. 1. 197 с.

Yasyukevich Yu., et al. The 6 September 2017 X-class solar flares and their impacts on the ionosphere, GNSS, and HF radio wave propagation // Space Weather 16.8 (2018): 1013–1027.



References

- Repin A. Yu., Alpatov V. V. "Space weather. Its impact on the sustainable development of society // Collection of Reports of the All-Russian Scientific and Practical Conference of the Russian Society of Sociologists "Social Communication in the Modern World". (December 22, 2022), Moscow, 2023, pp. 512-522.
- Robyn A. D. Fiori, Vickal V. Kumar, David H. Boteler and Michael B. Terkildsen. Occurrence rate and duration of space weather impacts on high-frequency radio communication used by aviation—J. Space Weather Space Clim., 12 (2022) 21, DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2022017>.
- K.; Andries, J.; Beck, P.; Berdermann, J.; Berghmans, D.; Cesaroni, C.; De Donder, E.; de Patoul, J.; Dierckxsens, M.; Doornbos, E.; et al. Space Weather Services for Civil Aviation—Challenges and Solutions. Remote Sens. 2021, 13, 3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183685>.
- Hapgood MA. 2011. Towards a scientific understanding of the risk from extreme space weather. Adv Space Res 47: 2059–2072, DOI:10.1016/j.asr.2010.02.007
- Green L, Baker D. 2015. Coronal mass ejections: a driver of severe space weather. Weather 70: 31–35, DOI:10.1002/wea.2437.
- Schrijver CJ, Kauristie K, Aylward AD, Denardini CM, Gibson SE, et al. 2015. Understanding space weather to shield society: a global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. Adv Space Res 55: 2745–2807.
- Robyn A. D. Fiori, Vickal V. Kumar, David H. Boteler and Michael B. Terkildsen. Occurrence rate and duration of space weather impacts on high-frequency radio communication used by aviation—J. Space Weather Space Clim., 12 (2022) 21, DOI: <https://doi.org/10.1051/swsc/2022017>.
- K.; Andries, J.; Beck, P.; Berdermann, J.; Berghmans, D.; Cesaroni, C.; De Donder, E.; de Patoul, J.; Dierckxsens, M.; Doornbos, E.; et al. Space Weather Services for Civil Aviation—Challenges and Solutions. Remote Sens. 2021, 13, 3685. <https://doi.org/10.3390/rs13183685>.
- Hapgood MA. 2011. Towards a scientific understanding of the risk from extreme space weather. Adv Space Res 47: 2059–2072, DOI:10.1016/j.asr.2010.02.007
- Green L, Baker D. 2015. Coronal mass ejections: a driver of severe space weather. Weather 70: 31–35, DOI:10.1002/wea.2437.
- Schrijver CJ, Kauristie K, Aylward AD, Denardini CM, Gibson SE, et al. 2015. Understanding space weather to shield society: a global road map for 2015–2025 commissioned by COSPAR and ILWS. Adv Space Res 55: 2745–2807
- Alpatov V. V., Repin A. Yu. "Space Weather" and the Ecology of the Earth // "Natural Resources Bulletin", 2021, No5 (488), p.6.
- Burns, A. G., et al. "The ionospheric and thermospheric response to CMEs: Challenges and successes." Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics 69.1-2 (2007): 77-85.
- Barannikov Y. I., Barsukov O. A., and Gavrilov P. F. (1987) Calculation of ionizing radiation levels along trajectories of high-altitude flights, JPRS Report Science Technology USSR Space, vol. 21, no. 2, pp. 102–109.
- Beck, P., Bartlett, D., Bilski, P., Dyer, C., Flückiger, E., Fuller, N., et al. (2008). Validation of modelling the radiation exposure due to solar particle events at aircraft altitudes. Radiation Protection Dosimetry, 131(1), 51–58. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncn238>.
- Kirill Kholodkov, Igor Aleshin, Artem Arakelov, Vyacheslav Burov, Alexey Vasiliev, and Stanislav Ivanov (2021), Sino-Russian Space Weather Effort for Global Air Navigation Safety, Russ. J. Earth Sci., 21, ES4004, doi:10.2205/2021ES000774
- Alpatov V.V., Krestnikov I.F. Problematic issues of utilization of the International Space Station // Use and protection of natural resources in Russia, 2019, No4 (160), pp.51-58.
- Alpatov V.V., Krestnikov I.F., Sosunova I.A. Social aspects of the problem of disposal of transport space systems // Quality and Life, 2021, No1(29), pp.40-48.
- Risk management and reduction of damage from emergencies caused by the impact of rocket and space technology on the environment. Monograph / A.Yu. Repin, V.V. Alpatov, P.N. Tkachenko, I.A. Sosunova, S.S. Ezhergin, N.V. Solovyova, I.F. Krestnikov, N.P. Solovyov – Khimki: Academy of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2020. Volume 1. 197 p.
- Yasyukevich, Yu, et al. "The 6 September 2017 X-class solar flares and their impacts on the ionosphere, GNSS, and HF radio wave propagation." Space Weather 16.8 (2018): 1013-1027.



УДК 658.7

Апробация и исследование методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации

И.А. Голуб

аспирант кафедры проблем управления
РТУ МИРЭА; Москва
e-mail: ivan.golub95@yandex.ru

Ю.Ю. Черемухина

канд. техн. наук, доцент кафедры проблем
управления РТУ МИРЭА; Москва
e-mail: cheremukhina@mirea.ru

Аннотация. В работе проводится исследование результатов внедрения и апробации методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации. Данная методика включает метод управления процессом подбора потенциальных поставщиков и метод повышения качества участников закупки.

В процессе работы описаны этапы внедрения методики в рабочие процессы на предприятиях атомной отрасли и повышена результативность процесса закупок по разработанным показателям результативности.

Ключевые слова: подбор поставщиков, атомная отрасль, закупки, Единый отраслевой стандарт закупок (положение о закупке) Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом», качество оборудования.

Summary. The article includes a study of the results of implementation and testing of the methodology for managing the supplier selection process management in the nuclear industry using digitization tools, which includes a method of managing the process of selecting suppliers using digitization tools and a method for

improving the quality of procurement participants using digitization tools.

The article describes the stages of implementation of the methodology into the working processes at nuclear industry enterprises and improves the efficiency of the procurement process according to the developed performance indicators.

Keywords: supplier selection, nuclear industry, procurement, The Procurement Standard of ROSATOM State Corporation, quality of products.

Введение

Единый отраслевой стандарт закупок (положение о закупке) Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (далее – ЕОСЗ) регламентирует требования к процедуре закупки, включающий в себя процесс подбора и оценки потенциальных поставщиков.

С целью совершенствования ЕОСЗ разработана методика управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации.

Данная методика состоит из метода управления процессом подбора поставщиков с применением инструментов цифровизации, позволяющего заказчику в атомной отрасли получать лучшие предложения и условия поставки оборудования, а также метода повышения качества участников закупки с применением инструментов цифровизации, предоставляющего возможность организациям атомной отрасли выбирать поставщиков, полностью соответствующих требованиям заказчика.

Метод управления процессом подбора потенциальных поставщиков с применением инструментов цифровизации включает создание комплексного решения, состоящее не только из базы данных поставщиков и оборудования, но и интеллекту-



альные алгоритмы для анализа и подбора наиболее подходящих поставщиков на основе заданных критериев (программное обеспечение (далее – ПО) для метода управления процессом подбора поставщиков, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617598 от 3 апреля 2024 г.).

Метод повышения качества участников закупки с использованием инструментов цифровизации включает дополнительные критерии аудита, а также интеллектуальные алгоритмы формирования чек-листа аудита достоверности данных на основании заполненной анкеты участника закупки (ПО для метода повышения качества участников закупки, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660115).

В данной статье представлены результаты апробации методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являются процессы материально-технического обеспечения, закупок и управления качеством приобретаемых товаров, работ, услуг.

В работе используются следующие общенаучные методы исследования: анализ, синтез, обобщение, системный подход, сравнение, аналогия, индукция и дедукция, экспертная оценка, эмпирическое исследование, моделирование, статистический анализ.

Информационную базу составил единый отраслевой стандарт закупок (положение о закупке) Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом».

Этапы внедрения

Разработанная методика управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации внедрена на предприятиях атомной отрасли.

На рис. 1 представлены этапы внедрения методики в рабочие процессы на предприятиях атомной отрасли.

Результаты внедрения

Анализу подвергалась процедура закупки и исполнение заключенных договоров до и после внедрения методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации. Исследования проводились в одинаковом временном промежутке, равном четыре календарных месяца.

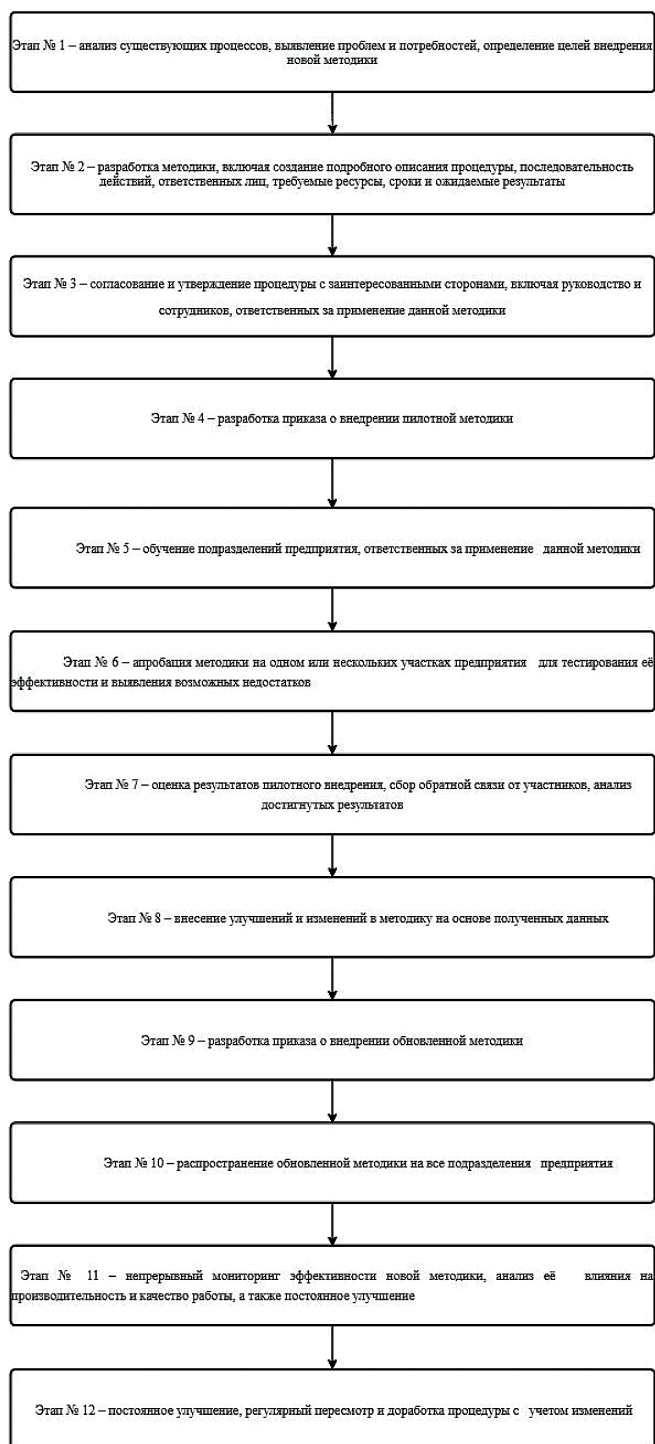
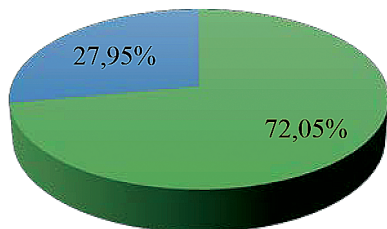
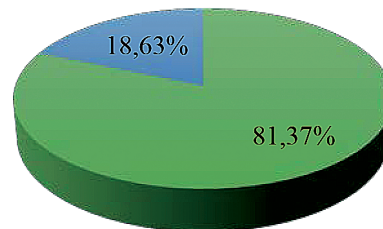


Рисунок 1. Этапы внедрения методики в рабочие процессы на предприятиях атомной отрасли

Выбор поставщика, включенного в базу данных с разделением по типам изготавливаемого/поставляемого оборудования и опыту поставки, а также успешно прошедшего аудит достоверности данных с дополнительными критериями, гарантирует своевременность достижения ключевых событий по договорам (согласование документации с заказчиком, положительные освидетельствования контрольных точек планов качества, положительные акты входного контроля и т.д.). Результаты оценки представлены на рис. 2.

Исполнение договоров до
внедрения методики

■ Соблюдение сроков достижения ключевых событий
■ Срыв сроков достижения ключевых событий

Исполнение договоров
после внедрения методики

■ Соблюдение сроков достижения ключевых событий
■ Срыв сроков достижения ключевых событий

Рисунок 2. Своевременность достижения ключевых событий по заключенным договорам

Дополнительные критерии аудита достоверности данных за период исследования позволили заказчику оценить текущее состояние производства участников закупки и определить потенциальные риски и угрозы для исполнения договора на отборочной стадии процедуры закупки.

На рис. 3 представлены показатели результативности методики управления процессом

подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации с дополнительными критериями аудита достоверности данных.

Оценка результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации

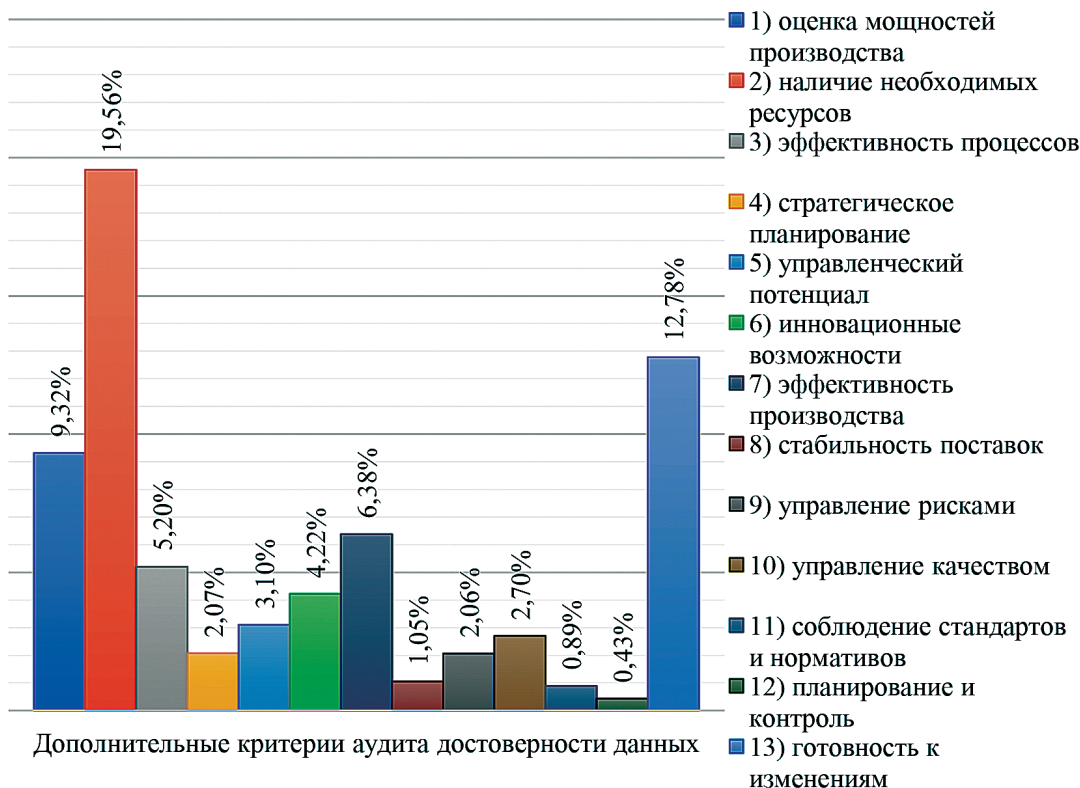
Показатели результативности методики управления
процессом подбора поставщиков с дополнительными
критериями аудита достоверности данных

Рисунок 3. Показатели результативности методики управления процессом подбора поставщиков с дополнительными критериями аудита достоверности данных



С целью определения комплексного показателя результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации разработаны критерии и базовые коэффициенты с помощью функциональной формы в виде средневзвешенной оценки.

Базовые коэффициенты критериев результативности определены экспертным методом и характеризуют значимость i -го показателя и принимаются равным значениям, приведенным в *табл. 1*.

Критерий результативности K_1 определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в *табл. 2*.

Расчетная формула:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^2 (T_i \cdot \alpha_i)}{\sum_{i=1}^2 \alpha_i},$$

где i – порядковый номер показателя;

T_i – значение i -го показателя;

α_i – базовый коэффициент i -го показателя, приведенный в *табл. 1*.

Критерий результативности K_2 определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в *табл. 3*.

Таблица 1. Базовые коэффициенты критериев результативности

№ п/п	Обозначение критериев результативности	Назначение критериев результативности	Базовый коэффициент критериев результативности (β)
1	K_1	Затраченное время на поиск потенциальных поставщиков	0,7
2	K_2	Количество несоответствий в ходе исполнения договоров	0,7
3	K_3	Риск отрицательного заключения по результатам проведения приемочной инспекции	0,9
4	K_4	Риск срыва сроков достижения ключевых событий	0,9
5	K_5	Стоимость полученных технико-коммерческих предложений	0,6

Таблица 2. Показатели для расчета критерия результативности K_1

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (α)
1	T_1	Затраченное время на поиск потенциального поставщика	Отношение времени, затраченного на поиск потенциального поставщика в прошлом отчетном периоде, ко времени, затраченному в текущем отчетном периоде	0,8
2	T_2	Затраченное время на заключение договора	Отношение времени, затраченного на заключение договора в прошлом отчетном периоде, ко времени, затраченному в текущем отчетном периоде	0,7

Таблица 3. Показатели для расчета критерия результативности K_2

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (τ)
1	Q_1	Своевременное предоставление сопроводительной документации на оборудование поставщика	$Q_1 = 1 - \frac{p}{p_0}$, где p – количество документов, представленных несвоевременно; p_0 – общее количество документов	0,8
2	Q_2	Качество сопроводительной документации на оборудование поставщика	$Q_2 = 1 - \frac{z}{z_0}$, где z – количество документов с замечаниями; z_0 – общее количество документов	0,8

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (τ)
3	Q_3	Затраченное время на устранение замечаний к сопроводительной документации	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7
4	Q_4	Своевременное предоставление обеспечений обязательств по договору	$Q_4 = 1 - \frac{P}{P_0}$, где e – количество документов с замечаниями; e_0 – общее количество документов	0,8
5	Q_5	Затраченное время на устранение замечаний к обеспечениям обязательств по договору	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7
6	Q_6	Успешное прохождение аудита в ходе исполнения договора	$Q_6 = 1 - \frac{r}{r_0}$, где r – количество замечаний, выявленных в ходе аудита; r_0 – общее количество аудитов	0,8
7	Q_7	Своевременное предоставление частной программы обеспечения качества поставщика	$Q_7 = 1 - \frac{P}{P_0}$, где p – количество документов, представленных несвоевременно; p_0 – общее количество документов	0,8
8	Q_8	Качество частной программы обеспечения качества поставщика	$Q_8 = 1 - \frac{z}{z_0}$, где z – количество документов с замечаниями; z_0 – общее количество документов	0,8
9	Q_9	Затраченное время на устранение замечаний к частной программе обеспечения качества поставщика	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7

Расчетная формула:

$$K_2 = \frac{\sum_{i=1}^9 (Q_i \cdot \tau_i)}{\sum_{i=1}^9 \tau_i},$$

где i – порядковый номер показателя;

Q_i – значение i -го показателя;

τ_i – базовый коэффициент i -го показателя, приведенный в табл. 1.

Критерий результативности K_3 определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в табл. 4.

Расчетная формула:

Таблица 4. Показатели для расчета критерия результативности К₃

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (γ)
1	U ₁	Несоответствие комплектности перечню передаваемой сопроводительной документации поставщика	$U_1 = 1 - \frac{m}{m_0},$ где m – количество недостающих документов; m ₀ – общее количество предоставленных документов	0,8
2	U ₂	Затраченное время на устранение замечаний к комплектности сопроводительной документации поставщика	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7
3	U ₃	Качество сопроводительной документации на оборудование поставщика	$U_3 = 1 - \frac{z}{z_0},$ где U – количество документов с замечаниями; U ₀ – общее количество документов	0,8
4	U ₄	Затраченное время на устранение замечаний к сопроводительной документации поставщика	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7
5	U ₅	Затраченное время на устранение замечаний к поставляемому оборудованию	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,8

$$K_3 = \frac{\sum_{i=1}^5 (U_i \cdot \gamma_i)}{\sum_{i=1}^5 \gamma_i},$$

где i – порядковый номер показателя;
U_i – значение i-го показателя;
γ_i – базовый коэффициент i-го показателя, приведенный в табл. 1.

Критерий результативности K₄ определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в табл. 5.

Расчетная формула:

$$K_4 = \frac{\sum_{i=1}^2 (P_i \cdot \varphi_i)}{\sum_{i=1}^2 \varphi_i},$$

Таблица 5. Показатели для расчета критерия результативности К₄

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (φ)
1	P ₁	Выполненные ключевые события по договору не в срок	$P_1 = 1 - \frac{h}{h_0},$ где h – количество выполненных ключевых событий по договору не в срок; h ₀ – общее количество ключевых событий по договору	0,9
2	P ₂	Затраченное время на разработку компенсирующих мероприятий	Отношение суммарного времени, затраченного на устранение замечаний в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на устранение замечаний в текущем отчетном периоде	0,7

где i – порядковый номер показателя;
 P_i – значение i -го показателя;
 φ_i – базовый коэффициент i -го показателя, приведенный в *табл. 1*.

Критерий результативности K_5 определяется как средневзвешенная оценка показателей, приведенных в *табл. 6*.

Расчетная формула:

$$K_5 = \frac{\sum_{i=1}^2 (P_i \cdot \varphi_i)}{\sum_{i=1}^2 \varphi_i},$$

где i – порядковый номер показателя;
 P_i – значение i -го показателя;
 φ_i – базовый коэффициент i -го показателя, приведенный в *табл. 1*.

Оценка результативности включает следующие этапы:

- оценка показателей критериев результативности до внедрения методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации;
- оценка частных показателей результативности после внедрения методики управления про-

цессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации;

- оценка результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации;
- интерпретация оценки результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации.

Оценка результативности проводится как средневзвешенная оценка по пяти критериям результативности, определенным в *табл. 1*.

Количественная оценка результативности проводится по формуле:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^5 (\beta_i \cdot K_i)}{\sum_{i=1}^5 \beta_i},$$

где i – порядковый номер показателя;
 K_i – значение i -го показателя;
 β_i – базовый коэффициент i -го показателя, приведенный в *табл. 1*.

Количественная оценка результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации (K) представлена в *табл. 7*.

Таблица 6. Показатели для расчета критерия результативности K_5

№ п/п	Обозначение показателя критерия	Объект, подлежащий оценке	Методика расчета	Базовый коэффициент показателя (φ)
2	O_1	Стоимость полученных технико-коммерческих предложений	Отношение стоимости полученных технико-коммерческих предложений на единицу типового оборудования в прошлом отчетном периоде к стоимости за единицу полученных технико-коммерческих предложений на единицу типового оборудования в текущем отчетном периоде	0,9
1	O_2	Затраченное время на запросы технико-коммерческих предложений потенциальным поставщикам	Отношение суммарного времени, затраченного на запросы технико-коммерческих предложений потенциальным поставщикам в прошлом отчетном периоде, к суммарному времени, затраченному на запросы технико-коммерческих предложений потенциальным поставщикам в текущем отчетном периоде	0,7



Таблица 7. Интерпретация количественной оценки результативности (К)

Количественная оценка результативности	Результативность
$K < 0,60$	Недопустимая
$0,60 \leq K < 0,75$	Допустимая
$0,75 \leq K < 0,85$	Достаточная
$0,85 \leq K < 0,95$	Высокая
$K \geq 0,95$	Очень высокая

Полученные значения К после внедрения методики увеличились с 0,62 до 0,91, что свидетельствует о повышении результативности методики с допустимого значения на высокий уровень.

Заключение

В результате внедрения и апробации методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации за период четыре календарных месяца отмечена высокая удовлетворенность ответственных сотрудников, принимавших участие в процедурах закупки, организации и проведения оценок потенциальных поставщиков по разработанной методике.

Выполнена оценка результативности разработанной методики, включающей метод управления процессом подбора потенциальных поставщиков с применением инструментов цифровизации и метод повышения качества участников закупки с использованием инструментов цифровизации.

Результативность методики подтверждается полученным значением количественной оценки результативности методики управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации $K = 0,91$.

Таким образом, методика управления процессом подбора поставщиков в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации обладает высокой практической значимостью для организаций в атомной отрасли, позволяя им оптимизировать закупочную процедуру, получать

лучшие предложения и условия поставки оборудования, повышать качество потенциальных поставщиков и поставлять оборудование высокого качества, что способствует повышению надежности и безопасности в атомной отрасли.

Использованные источники

1. Голуб И.А., Черемухина Ю.Ю. Метод повышения качества участников закупки в атомной отрасли с использованием инструментов цифровизации // Качество и жизнь. 2024. № 1–2(41–42). С. 42–46.

2. Голуб И.А., Черемухина Ю.Ю. Критерии отбора поставщиков в атомной отрасли // Компетентность. 2023. № 6. С. 56–60.

3. Голуб И.А., Черемухина Ю.Ю. Анализ результатов приемо-сдаточных испытаний // Наука и бизнес: пути развития. 2022. № 5(131). С. 202–205.

4. Голуб И.А., Борисов В.В. Оптимизация проведения испытаний радиоэлектронных средств // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 11(113). С. 94–97.

References

1. Golub I.A., Cheremukhina J.J. Kriterii otbora postavshchikov v atomnoi otrasli [Selection criteria for suppliers in the nuclear industry]. Kompetentnost' [Competency]. 2023 No 6. 56 – 60 pp. (in Rus).

2. Golub I.A., Cheremukhina J.J. Metod povysheniia kachestva uchastnikov zakupki v atomnoi otrasli s ispol'zovaniem instrumentov tsifrovizatsii [Method for improving the quality of procurement participants in the nuclear industry using digitalization tools]. Kachestvo i zhizn' [Quality and life]. 2024 No 1-2(41-42). 42 – 46 pp. (in Rus).

3. Golub I.A., Cheremukhina J.J. Analiz rezul'tatov priemo-sdatochnykh ispytaniy [Analysis of the Results of Acceptance Tests]. Nauka i biznes: puti razvitiya [Science and business: development pathways]. 2022 No 5 (131). 202 – 205 pp. (in Rus).

4. Golub I.A., Borisov V.V. Optimizatsiia provedeniia ispytaniy radioelektronnykh sredstv [Optimization of radio electronic testing]. Nauka i biznes: puti razvitiia [Science and business: development pathways]. 2020 No 11 (113). 94 – 97 pp. (in Rus).



С глубоким прискорбием
извещаем о кончине

**Марина
Владимира
Петровича**

В 2024 году ушел из жизни Президент отраслевого отделения «Качество и экология производства радиоэлектронной техники» МОО «Академия проблем качества им. В.В. Бойцова» Владимир Петрович Марин.

Владимир Петрович Марин родился 8 февраля 1928 г.

В.П. Марин – профессор, лауреат Государственных премий СССР и РФ в области науки и техники, лауреат премии ВДНХ, автором 587 научных и учебно-методических работ, в том числе: 12 монографии, 16 учебников и учебных пособий, 55 научно-тематических сборников, 28 изобретений, 410 научно-технических статей, 67 научно-технических отчётов.

В.П. Мариным создана научная школа по технологическим основам радиоэлектроники. Видный ученый в области радиоэлектронного (электровакуумного) приборостроения и электронной радиолокационной базы Владимир Петрович глубоко чувствовал возможности и динамику современного развития науки и техники. Его анализ и оценки наукоемких радиоэлектронных технологий позволило быстро внедрять в производство сложнейшие технологические процессы, конструкционные решения и информационно-аналитические – управляющие комплексы. За заслуги перед Отечеством В. П. Марин был награжден 17 орденами и медалями СССР и Российской Федерации.

Выражаем соболезнования родственникам В.П. Марина, его ученикам и коллегам.

**Журнал «Качество и жизнь»
рекомендован
Высшей аттестационной
комиссией для публикации
в нем основных научных
результатов
диссертаций на соискание
ученой степени кандидата
или доктора наук**

