

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

Жұмаділ Қайырғали Мұратұлы на тему «Разработка технологии синтеза алюминированных карбидов титана как основного прекурсора для получения 2D материала MXene», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «8D07102 – Химическая инженерия»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:	Диссертационная работа выполнена в рамках проекта государственного грантового финансирования AP14871554 «Оптимизация инновационного метода синтеза алюминированных карбидов титана как основного материала для получения 2D MXene материалов (Ti_3C_2 , Ti_2C) и BR27198753 «Введение культуры утилизации батарей в Казахстане и разработка технологий извлечения ценных компонентов из отработанных Li-ионных аккумуляторов, включая «зеленые технологии». Тема диссертационной работы соответствует приоритетному направлению развития науки Республики Казахстан «Энергия, передовые материалы и транспорт», утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан. Исследование направлено на решение прикладных задач материаловедения, связанных с оптимизацией метода синтеза MAX-фаз Ti_3AlC_2 и Ti_2AlC с использованием локальных сырьевых ресурсов казахстанских производителей для повышения выхода продукта, снижения себестоимости и последующего масштабирования, и выполнено на базе КазНУ имени аль-Фараби.
		1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);	
		2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы);	
		3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта .	Диссертационная работа вносит существенный вклад в оптимизацию метода синтеза MAX-фаз Ti_3AlC_2 и Ti_2AlC с использованием локальных сырьевых ресурсов казахстанских производителей, а также научно установлены основные корреляции между условиями проведения синтеза материалов (включая состав и соотношение прекурсоров,

			температуру, длительность процесса) и их физико-химическими и электрохимическими свойствами. В работе на основании анализа дифрактограмм с помощью метода Ритвельда построены фазовые диаграммы синтезированных образцов МАХ-фаз и научно обоснованы оптимальные условия синтеза материалов, обеспечивающие максимальный выход продукта и его фазовую чистоту. Кроме того, продемонстрированы и научно обоснованы на основании данных о межплоскостных расстояниях слоев TiC преимущества электрохимических характеристик (емкость и стабильность) для Мхепе-материалов, полученных из синтезированной МАХ-фазы по сравнению с коммерчески доступными аналогами.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности:	Уровень самостоятельности автора на основе анализа диссертационной работы можно считать средним. В работе указано, что личный вклад автора заключается в непосредственном выполнении синтеза исследуемых МАХ-фаз и МХепе-материалов, подготовке и проведении экспериментов, обработке и интерпретации экспериментальных данных, а также в анализе полученных результатов и формулировке основных научных положений, выносимых на защиту. Однако данные, представленные для анализа электрохимических свойств полученных материалов, можно считать неполными. Также в диссертационной работе частично отсутствуют данные, представленные в публикациях по диссертационной работе, а большинство публикаций (три публикации из четырех) являются результатом смежных проектов автора и других исследовательских групп.
		1) высокий;	
		2) средний;	
		3) низкий;	
		4) самостоятельности нет.	
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации:	Актуальность диссертационной работы обоснована необходимостью снижения себестоимости и повышения экономической эффективности и масштабируемости процесса синтеза МАХ-фаз, включая изучение альтернативных методов их синтеза с использованием более дешевых и доступных прекурсоров, а именно локального казахстанского сырья. Двумерные (2D) МХепе-материалы, полученные из МАХ-фаз, привлекают внимание благодаря высокой проводимости, механической гибкости, структурной стабильности и возможности для
		1) обоснована;	
		2) частично обоснована;	
		3) не обоснована.	

			функционализации, что делает их идеальными кандидатами для применения в аккумуляторах и суперконденсаторах, а эти устройства имеют решающее значение для хранения энергии в связи с растущим спросом на электромобили и портативную электронику. Однако изменение состава прекурсоров в синтезе МАХ-фаз оказывает непосредственное влияние на условиях протекания процессов и выход целевого продукта, что требует решения прикладной задачи оптимизации условий синтеза и определяет важность и практическую применимость настоящей работы.
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:		Содержание диссертации полностью соответствует заявленной теме. В полном объеме представлены исследования зависимости фазовой чистоты и выхода целевого продукта МАХ-фазы в зависимости от условий синтеза образцов, включая состав и соотношение прекурсоров, температуру, длительность процесса и форму загрузки материалов. Также оптимизированы условия выщелачивания алюминия в процессе получения МХепе-материалов. Исследованы электрохимические свойства материалов и обоснованы их преимущества по сравнению с коммерчески доступными аналогами.
	1) отражает;		
	2) частично отражает;		
	3) не отражает.		
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:		Поставленная в работе цель заключается в оптимизации метода синтеза МАХ-фаз Ti_3AlC_2 и Ti_2AlC для повышения выхода продукта, снижения себестоимости и разработки пилотной установки для последующего масштабирования и полностью соответствует теме диссертации. Автором сформулированы шесть взаимосвязанных задач, последовательно ориентированных на достижение цели, и охватывающих подбор прекурсоров и оптимизацию синтеза МАХ-фаз, оптимизацию условий выщелачивания алюминия, физико-химическую характеристику материалов и исследование их электрохимических свойств, а также разработку технологической схемы производства и масштабирование процесса. Задачи логически структурированы и полностью соответствуют теме диссертации.
	1) соответствуют;		
	2) частично соответствуют;		
	3) не соответствуют.		

		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	В диссертационной работе выдержана четкая внутренняя логика. В литературном обзоре описаны основные преимущества изучаемых материалов при применении в электрохимических устройствах хранения энергии, важность их получения, основные методы синтеза, их достоинства и недостатки. На основании выводов из литературного обзора сформулирована тема и цель диссертационной работы. Экспериментальная часть содержит описание методов синтеза, аналитических методов исследований материалов, однако описание электрохимических исследований нельзя назвать полным. В разделе результатов закономерно и последовательно изложены полученные данные и произведен их анализ, установлены основные взаимосвязи. Выводы сформулированы четко и вытекают из представленных данных.
		1) полностью взаимосвязаны;	
		2) взаимосвязь частичная;	
		3) взаимосвязь отсутствует.	
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Обзор литературы, экспериментальная часть и представленные в работе результаты в целом организованы логично и последовательно и отражают цель и тему диссертационной работы. Однако переход от оптимизации условий синтеза МАХ-фазы к определению условий выщелачивания алюминия и получению Мхепе-материалов обоснован лишь частично. Также оптимизация условий выщелачивания алюминия из МАХ-фаз указана автором в качестве научной новизны работы, однако отсутствует в перечне положений, выносимых на защиту. Физико-химические исследования материала практически полностью ограничены анализом дифрактограмм и не подтверждены другими методами. Автор использует различные условия для оценки электрохимических свойств материалов, не обосновывая данный выбор, а для подтверждения преимуществ полученного материала используется единственный коммерческий образец, испытанный автором в аналогичных условиях самостоятельно, без сравнения с данными для коммерческих аналогов из ранее опубликованных источников литературы.
		1) критический анализ есть;	
		2) анализ частичный;	
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Новизна работы (новыми являются 75%) заключается в оптимизации известных подходов к синтезу МАХ-фаз с учетом использования новых локальных прекурсоров, а полученные в работе оптимальные условия
		1) полностью новые;	

		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	синтеза материалов в целом попадают в ранее установленные границы, однако они уточнены и обоснованы полученными данными. Полученные автором корреляции между условиями синтеза и свойствами материала характеризуются новизной в рамках сформулированной прикладной задачи диссертационного исследования.
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Полученные результаты являются новыми (новыми являются 75%) благодаря применению локальных прекурсоров, что потребовало уточнения и оптимизации условий синтеза МАХ-фаз, и в итоге к некоторому численному преимуществу при определении электрохимических свойств Мхепе-материалов, полученных из синтезированных МАХ-фаз по сравнению с коммерческим аналогом. Новизна не является абсолютной и носит скорее прикладной характер, однако она достаточна для диссертации.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	Технические и технологические решения абсолютно обоснованы и отчасти являются новыми в применении (новыми являются 75%), поскольку применяются для системы с новым составом и соотношением прекурсоров при синтезе МАХ-фаз. Использованные решения не являются принципиально новыми, но их применение к изучаемым материалам и продуктам научно оправдано и привело к получению несомненно нового и обоснованного прикладного результата.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы основаны /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы о корреляциях между условиями синтеза фаз и их свойствами, а также определение оптимальных условий синтеза, обеспечивающих высокий выход и чистоту фаз, обоснованы с научной точки зрения применением метода Ритвельда для анализа дифрактограмм при количественном определении состава продукта и его чистоты. Полученные электрохимические характеристики Мхепе-материалов также обоснованы за счет сочетания структурных методов исследований и анализа циклических вольтамперограмм образцов. Экспериментальные данные согласуются между собой и находятся в

			строгом соответствии с уже опубликованными данными, а проведенный анализ позволяет объяснить полученные численные значения за счет описания механизмов протекания реакций и процессов.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: Оптимальными параметрами синтеза фазы Ti_3AlC_2 являются: смесь прекурсоров $TiC-Ti-Al$, прессование реакционной смеси в таблетки, температура синтеза $1350\text{ }^{\circ}C$, время выдержки образца в печи 2 ч, наличие защитного покрытия Al_2O_3 и 60 %-ный избыток алюминия, при которых фазовая чистота продукта достигает 91,2 %. 7.1 Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	Положение 1 является доказанным, так как в ходе исследований на основании фазовых диаграмм, полученных при расчете фазового состава продукта реакции методом Ритвельда при уточнении дифрактограмм, определено влияние различных факторов, таких как состав и соотношение прекурсоров, температура, продолжительность реакции, избыток алюминия, форма защиты поверхности. На основании комплекса данных выделены оптимальные условия синтеза, что обеспечило фазовую чистоту продукта Ti_3AlC_2 равную 91,2 %. Положение 1 не является тривиальным, поскольку применение в качестве прекурсоров для синтеза МАХ-фаз смеси $TiC-Ti-Al$ является оригинальным и требует уточнения параметров синтеза для обеспечения максимального выхода и фазовой чистоты продукта, а также на основании предположений о механизмах реакции автору удалось увеличить выход целевой фазы при добавлении избытка алюминия и применения оксида алюминия в качестве защиты поверхности при синтезе, что ранее не было выделено как значимый фактор влияния. Положение 1 является новым поскольку предложенная в качестве прекурсоров материала смесь $TiC-Ti-Al$ определена впервые и впервые выявлены такие факторы влияния как избыток алюминия и способ защиты поверхности реакционной смеси, а также установлено их влияние. Уровень применения Приложения 1 средний, так как положение носит прикладной характер и определяет оптимальные условия синтеза для частного случая использования конкретного состава, соотношения и формы прекурсоров, однако могут быть применены для масштабирования и снижения себестоимости синтеза материалов на территории Республики Казахстан, в частности внедрены в научно-исследовательскую деятельность профильных институтов и заводов при

		7.3 Является ли новым?	создании аккумуляторных систем. Состав прекурсоров локализует применимость установленных оптимальных условий синтеза и полученных результатов. Положении 1 не доказано ни в одной из опубликованных статей.
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	
		7.4 Уровень для применения:	
		1) узкий;	
		2) средний;	
		3) широкий;	
		4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
		7.5 Доказано ли в статье?	
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	
		Положение 2: Оптимальными параметрами синтеза фазы Ti_2AlC являются: смесь прекурсоров $Ti-C-Al_4C_3$, загрузка реакционной смеси в виде порошка, температура $1350\text{ }^{\circ}C$ и время выдержки 2 ч, при которых фазовая чистота продукта достигает 71,3 %.	Положение 2 является доказанным, так как в ходе исследований на основании фазовых диаграмм, полученных при расчете фазового состава продукта реакции методом Ритвельда при уточнении дифрактограмм, определено влияние различных факторов, таких как состав и соотношение прекурсоров, температура, продолжительность реакции, форма защиты поверхности. На основании комплекса данных выделены оптимальные условия синтеза, что обеспечило фазовую чистоту продукта Ti_2AlC равную 71,3 %.
		7.1 Доказано ли положение?	
		1) доказано;	
		2) скорее доказано;	
		3) скорее не доказано;	Положение 2 не является тривиальным, поскольку применение в качестве прекурсоров для синтеза МАХ-фаз смеси $Ti-C-Al_4C_3$ является оригинальным и требует уточнения параметров синтеза для обеспечения максимального выхода и фазовой чистоты продукта, а также на

	4) не доказано;	основании предположений о механизмах реакции автору удалось увеличить выход целевой фазы при изменении формы загрузки, что ранее не было выделено как значимый фактор влияния. Положение 2 является новым поскольку предложенная в качестве прекурсоров материала смесь $Ti-C-Al_4C_3$ определена впервые и впервые выявлены такие факторы влияния как форма загрузки реагентов, а также установлено их влияние. Уровень применения Приложения 2 средний, так как положение носит прикладной характер и определяет оптимальные условия синтеза для частного случая использования конкретного состава, соотношения и формы прекурсоров, однако могут быть применены для масштабирования и снижения себестоимости синтеза материалов на территории Республики Казахстан, в частности внедрены в научно-исследовательскую деятельность профильных институтов и заводов при создании аккумуляторных систем. Состав прекурсоров локализует применимость установленных оптимальных условий синтеза и полученных результатов. Положении 2 доказано в статье Zhumadil K.M., Kan T. V., Malik S.D., Skakov M.K., Miniyazov A.Z., Mukhamedova N.M., Zhanbolatova G.K., Malchik F.I. Multilevel optimization of Ti_2AlC synthesis process using precursors of Kazakhstan origin // NNC RK Bulletin. - 2025. - Is. 2. - P. 88–95
	5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	
	7.2 Является ли тривиальным?	
	1) да;	
	2) нет;	
	3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	
	7.3 Является ли новым?	
	1) да;	
	2) нет;	
	3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	
	7.4 Уровень для применения:	
	1) узкий;	
	2) средний;	
	3) широкий;	
	4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
	7.5 Доказано ли в статье?	
	1) да;	
	2) нет;	
	3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	
	Положение 3: $MXene Ti_3C_2T_x$, полученный из синтезированной фазы Ti_3AlC_2, в 6 М растворе NaOH при скорости	Положение 3 скорее доказано, поскольку в тексте диссертационной работы приведены данные исследований MXen-материала 6 М растворе KOH при скорости развертки 5 мВ/с (циклические вольтамперограммы), продемонстрирована устойчивость материала в течение 1000 циклов в

		развертки 5 мВ/с демонстрирует кулоновскую эффективность 99,8 % в течение 1000 циклов.	данных условиях, а также приведены данные о значении кулоновской эффективности. Однако автором работы в формулировке Положения 3 указано, что испытания проводились в среде 6М NaOH, в то время как в тексте диссертационной работы приведены исследования материала в среде 6М KOH. В диссертации отсутствует расчет кулоновской эффективности, приведено лишь его численное значение. Также в Положении 3 не указано, для какого именно процесса с участием MXene $Ti_3C_2T_x$ рассчитана кулоновская эффективность. Положение 3 не является тривиальным, поскольку значение кулоновской эффективности процесса с участием MXene $Ti_3C_2T_x$ является показателем его электрохимических свойств и важно для оценки эффективности, а также для установления корреляций между условиями синтеза, структурой и свойствами полученного материала. В текущей формулировке проверить новизну Положения 3 невозможно, поскольку не указаны пределы циклирования (окно потенциалов), не указан процесс, для которого рассчитана кулоновская эффективность и не проведено сравнение в явном виде полученных значений для синтезированного материала и существующих аналогов. В качестве новизны представленного положения можно выделить исследуемый материал, поскольку он был синтезирован автором впервые. Уровень применения Положения 3 средний, так как в данном случае речь идет об исследовании свойств конкретного материала, который может затем эффективно применяться в составе электрохимических устройств. Положение 3 не доказано ни в одной из опубликованных статей. В статье Malik S., Zhumadil K., Avchukir K., Skakov M., Miniyaev A., Mukhamedova N., Zhanbolatova G., Malchik F. Enhancing electrochemical performance of LaNi5 anodes using MXene as a multifunctional additive for Ni-MH batteries // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2025. – Vol. 996. – P. 119409 представлены циклические вольтамперограммы для MXene $Ti_3C_2T_x$, полученного из коммерческой фазы Ti_3AlC_2 (MAX phase, Carbon Ukraine, $\geq 85\%$) в 6М KOH, что не может быть доказательством Положения 3, в котором представлены результаты исследований для
		7.1 Доказано ли положение?	
		1) доказано;	
		2) скорее доказано;	
		3) скорее не доказано;	
		4) не доказано;	
		5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	
		7.2 Является ли тривиальным?	
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	
		7.3 Является ли новым?	
		1) да;	
		2) нет;	
		3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	
		7.4 Уровень для применения:	
		1) узкий;	
		2) средний;	
		3) широкий;	
		4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно.	
		7.5 Доказано ли в статье?	
		1) да;	

		2) нет;	MXene $Ti_3C_2T_x$, полученного из синтезированной фазы Ti_3AlC_2 в 6 М растворе NaOH. Расчет кулоновской эффективности также отсутствует.
		3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	В целом методология диссертационной работы обоснована и описана. Достоверность результатов обеспечена применением обширного комплекса современных независимых методов исследования: сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгенофазового анализа (РФА) с уточнением структуры методом Ритвельда, а также лазерного анализа размеров частиц, в сочетании с электрохимическими методами, в том числе циклической вольтамперометрией. Однако методика электрохимических исследований, в том числе выбор условий и расчет электрохимических параметров, описан автором частично и не дает полного понимания и целостности диссертационной работы.
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) да;	
		2) нет.	
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты получены с использованием современных приборов и методов научных исследований, а именно потенциостата/гальваностата BioLogic SP-300, сканирующего электронного микроскопа Quanta 3D 200i, дифрактометра Tongda TD-3700, лазерного анализатора Horiba Partica LA-960. Обработка данных проводилась с применением программного пакета GSAS-II (метод Ритвельда) и специализированного электрохимического программного обеспечения.
		1) да;	
		2) нет.	
		8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы в работе подтверждены экспериментальными данными. Оптимизация параметров синтеза МАХ-фаз базируется на фазовых диаграммах, полученных при обработке дифрактограмм с помощью метода Ритвельда. Повышение емкости MXene-материала обосновано снижением межплоскостного расстояния между слоями TiC из-за меньшего размера частиц синтезированной МАХ-фазы по сравнению с коммерческой.
		1) да;	

		2) нет.	
		8.4 Важные утверждения подтверждены/ частично подтверждены /не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения в целом подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу. Однако при определении преимуществ синтезированных MXen-материалов по сравнению с аналогами, в том числе в рамках анализа электрохимических свойств, автор использует коммерческий образец исходной МАХ-фазы, испытания которого также проводятся в рамках диссертационной работы, при этом сравнение полученных данных с опубликованными ранее в литературе для коммерческих или лабораторных аналогов отсутствует.
		8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы достаточны для литературного обзора. В работе рассмотрены современные публикации по всем ключевым темам. Список использованных источников включает 126 наименований, преимущественно статьи в международных рецензируемых журналах (Electrochimica Acta, Journal of Electroanalytical Chemistry, ACS Applied Materials and Interfaces, Polyhedron и др.).
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Теоретическое значение диссертационной работы заключается в установлении взаимосвязей между условиями синтеза МАХ-фаз и полученным выходом целевого продукта, что позволило определить оптимальные условия синтеза, а также выделить влияние таких факторов как температура, время выдержки, форма загрузки реакционной смеси, содержание алюминия и защита поверхности реагентов оксидной пленкой.
		1) да;	
		2) нет.	
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Результаты работы имеют прикладное практическое значение для создания лабораторной и промышленной технологии синтеза МАХ-фаз с использованием доступных прекурсоров. Разработанная методика позволяет получить материалы с высоким выходом и чистотой при низкой себестоимости, что открывает возможность организации малотоннажного производства MXene-предшественников в Казахстане. Полученные MXene могут быть использованы как активные материалы для электродов суперконденсаторов, литий-ионных аккумуляторов и
		1) да;	
		2) нет.	

			сенсорных систем. Результаты работы внедрены в научно-исследовательскую деятельность ТОО «Институт аккумуляторов», где подтверждена применимость синтезированного материала Ti_3AlC_2 для получения MXene с электрохимическими свойствами, не уступающими коммерческим аналогам.
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения для практики являются частично новыми (новыми являются около 75%). Новизна в оптимизации методики синтеза обеспечивается использованием и адаптацией локальных прекурсоров для получения МАХ-фаз с высоким выходом и высокой фазовой чистотой. А электрохимические характеристики полученных MXen-материалов демонстрируют преимущества по сравнению с коммерческими аналогами.
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Академический стиль изложения в целом понятен, а диссертация достаточно структурирована. Однако в тексте наблюдаются некоторые неточности и опечатки, которые ни в коей мере не снижают понимания работы.
		1) высокое;	
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	
11.	Замечания к диссертации	В качестве основных замечаний к работе следует отметить: 1. Автор выделяет в качестве научной новизны нахождение оптимальных условий выщелачивания алюминия из МАХ-фазы, однако представленный метод с использованием смеси соляной кислоты и фторида лития уже описан в литературе, в том числе автор в методической части (разделы 2.6 и 2.7) ссылается на статью 2014 года [Ghidiu M., Lukatskaya M.R., Zhao M.-Q., Gogotsi Y., Barsoum M.W. Conductive two-dimensional titanium carbide 'clay' with high volumetric capacitance // Nature. - 2014. - Vol. 516, Is. 7529. - P. 78–81] при описании данного метода. В работе в явном виде не указано какие параметры выщелачивания были определены автором впервые и как предложенный метод отличается от ранее описанного в литературе, в чем его преимущества. Отсутствует объяснение большей эффективности представленной смеси HCl и LiF относительно других использованных для выщелачивания систем, в том числе чистой плавиковой кислоты. Следует отметить, что представленное утверждение выделено в качестве научной новизны, но отсутствует в положениях, выносимых автором на защиту. 2. В методической части (раздел 2.5) диссертационной работы при описании физико-химических методов исследования указано, что построение фазовых диаграмм в работе выполнено с использованием метода Ритвельда по данным порошковой рентгеновской дифракции, однако автор упоминает, что данный метод позволяет	

провести полуколичественную оценку содержания фаз. В представленных в Приложении таблицах с расчетными значениями содержания фаз не указана погрешность их определения, хотя значения приведены до десятых долей процента. Автору рекомендуется провести оценку погрешности полученных данных и скорректировать при необходимости сделанные выводы об оптимальных условиях синтеза материалов.

3. Автор при сравнении синтезированной и коммерческой МАХ-фаз делает вывод о влиянии размера частиц МАХ-фазы на межплоскостное расстояние между слоями TiC в полученных после выщелачивания MXene-материалах (раздел 3.4.1). Однако в описании методики синтеза МАХ фазы указано, что после спекания в течение 2 часов при 1350 °C автор измельчает полученный продукт механически. Условия данной обработки и оценка ее влияния на размер частиц порошка МАХ-фазы до выщелачивания в работе не представлены. Также не определены факторы, которые могут оказывать влияние на межплоскостное расстояние между слоями TiC в полученном после выщелачивания MXene-материале, например, условия выщелачивания.

4. Автор исследует электрохимические свойства полученных материалов (раздел 3.4). В работе проводится сравнение емкости и долговечности синтезированного и коммерческого материалов. Однако испытания проводились автором в разных условиях, емкость определена в растворе хлорида лития, где в качестве электрода сравнения использован хлорсеребряный электрод, а долговечность при циклировании в щелочной среде и в качестве электрода сравнения использован оксидно-ртутный электрод. При этом окно потенциалов для различных исследований также отличается, однако отсутствует обоснование выбора условий исследований. В работе также не приведены формулы для расчета емкости материала и кулоновской эффективности процесса, а лишь указаны конечные численные величины. Отсутствует указание в явном виде для какого процесса была рассчитана кулоновская эффективность.

5. В положениях, выносимых на защиту, указаны результаты для MXene $Ti_3C_2T_x$, полученного из синтезированной фазы Ti_3AlC_2 , в 6 М растворе NaOH при скорости развертки 5 мВ/с, однако в результатах работы (раздел 3.4.1) указаны другие условия, а именно в щелочном электролите 6М КОН была исследована электрохимическая стабильность $Ti_3C_2T_x$ (syn).

6. При определении преимуществ синтезированных материалов по сравнению с аналогами, в том числе в рамках анализа электрохимических свойств, автор использует коммерческий образец, испытания которого также проводятся в рамках диссертационной работы, при этом сравнение полученных данных с опубликованными ранее в литературе для коммерческих или лабораторных аналогов отсутствует.

7. Автор при описании электрохимических исследований полученных материалов использует термин «быстрая кинетика зарядопереноса», однако точность его употребления в контексте работы вызывает некоторые сомнения, поскольку автором также упоминается значительное влияние диффузионной составляющей на процесс. Отсутствует объяснение режима работы системы и не установлена лимитирующая стадия процесса. Не указаны

		основные параметры, влияющие на скорость переноса заряда и не выделены кинетические и диффузионные составляющие. 8. В тексте диссертации встречаются помарки, опечатки и неточности, например вместо знача градусы используется символ «0», а на рисунке 27 не указаны буквы, хотя в тексте упоминается рисунок 27а, 27б и т.д. Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей научной ценности диссертационной работы.
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	По теме диссертационной работы в соавторстве с соискателем опубликованы 3 статьи в журналах, входящих в базы Web of Science и Scopus по направлению материаловедение и прикладная химия: 1) Malchik F., Maldybayev K., Kan T., Kokhmetova S., Chae M.S., Kurbatov A., Galeyeva A., Kaupbay O., Nimkar A., Bergman G., Levi N., Zhang H., Jin Q., Lin Z., Shpigel N., Mandler D. Boosting the capacity of MXene electrodes in neutral aqueous electrolytes // Cell Reports Physical Science. - 2023. - Vol. 4, Is. 7. - P. 101507. 2) Zhigalenok Y., Abdimomyn S., Zhumadil K., Lepikhin M., Starodubtseva A., Kiyatova M., Shpigel N., Malchik F. A practical guide for separator selection, characterization, and electrochemical evaluation for supercapacitor application // Applied Physics Reviews. - 2024. - Vol. 11, Is. 3. 3) Malik S., Zhumadil K., Avchukir K., Skakov M., Miniyaazov A., Mukhamedova N., Zhanbolatova G., Malchik F. Enhancing electrochemical performance of LaNi5 anodes using MXene as a multifunctional additive for Ni-MH batteries // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2025. – Vol. 996. – P. 119409 Данные статьи опубликованы в рамках смежных исследований, а роль автора диссертации в них указана как концептуализация, исследование и формальный анализ. Соискатель является первым автором в одной статье, опубликованной в журнале КОКСНВО: 1) Zhumadil K.M., Kan T. V., Malik S.D., Skakov M.K., Miniyaazov A.Z., Mukhamedova N.M., Zhanbolatova G.K., Malchik F.I. Multilevel optimization of Ti2AlC synthesis process using precursors of Kazakhstan origin // NNC RK Bulletin. - 2025. - Is. 2. - P. 88–95 В целом общий научный уровень публикаций, отражающих научные результаты исследования, можно считать высоким, однако вклад автора диссертационной работы при написании указанных публикаций следует указать как средний, поскольку в трех индексируемых публикациях с наибольшими значения IF журнала из четырех не указано его участие при написании первоначальной рукописи.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего	Выберите одно из следующих решений: 1) присудить степень доктора философии (PhD); 2) отправить диссертацию на доработку; 3) отказать в присуждении степени доктора философии (PhD).

Типового положения)	Рекомендуется отправить диссертационную работу на доработку. Автору рекомендуется без проведения дополнительных исследований внести соответствующие правки в диссертационную работу на основании представленных замечаний (пункт 11), что, несомненно, позволит повысить ясность изложения, целостность и понимание диссертационной работы.
---------------------	---

Официальный рецензент:

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник
АО Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского

«18» июня 2026 г.



Иванова Н.А.

