

Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.

**ИННОВАЦИОННЫЕ КАЗАХСТАНСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ
ЭНЕРГЕТИКИ**



Товарищество с ограниченной ответственностью
«Научно-производственный центр «Агроинженерии»

Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.

**ИННОВАЦИОННЫЕ
КАЗАХСТАНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Монография

Алматы - 2023

УДК 620.9
ББК 31.6
Ж 27

Рекомендовано к печати Учёным советом
ТОО «Научно-Производственный центр «Агроинженерии»
(протокол № 3 от 16.03.2023 г.)

Рецензенты:

*Арынгазин А.К., доктор физико-математических наук,
Председатель правления ТОО «Astana Business Campus»*
*Жанабергенов Т.К., кандидат технических наук,
Ведущий научный сотрудник ТОО «НПЦ «Агроинженерии»*

**Ж 27 Жангозин К.Н., Каргин Д.Б. Инновационные казахстанские технологии
развития зеленой энергетики. Монография. – Алматы: «Darkhan», 2023. - 105 стр.**

ISBN 978-601-7503-54-3

Проведен анализ ветрового потенциала Казахстана и перспективы его эффективного использования. Сделан анализ существующих мер поддержки развития зеленой энергетики, основанной на ветровой, солнечной и гидроэнергетики. Рассчитаны параметры ветровых турбин больших мощностей с прямыми лопастями в форме равнобедренной трапеции. Такие турбины являются изобретением казахстанских учёных и эффективны для ветровых режимов Казахстана. Приведены формулы для расчётов частот вращения и вырабатываемой мощности и способы увеличения мощности турбин, а также рассчитаны величины вырабатываемой электроэнергии. Проведены сравнения эффективности таких турбин с существующими ветровыми турбинами мегаваттного класса. Для аккумуляции излишков энергии актуальной задачей является создание мощных эффективных аккумуляторов энергии. Большие надежды в этой области возлагаются в последние годы на аккумуляторы с применением графена.

Предложен новый метод синтеза малослойного графена интеркаляцией графита микрокластерной водой. Метод очень дешёвый и вне конкуренции по экологической чистоте. Используются только графит и вода. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие эффективность интеркаляции микрокластерной воды в графит-результаты исследований на электронном микроскопе и проанализированы результаты рамановской спектроскопии. Проведен анализ применимости рамановской спектроскопии для исследования малослойного графена.

УДК 620.9
ББК 31.6

ISBN 978-601-7503-54-3

©Жангозин К.Н., Каргин Д.Б., 2023
©ТОО «НПЦ «Агроинженерии», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАЗАХСТАНА	
1.1 Характеристика возобновляемых энергоресурсов Казахстана	9
1.1.1 Ветроэнергетические ресурсы Казахстана.....	10
1.2 Расчёт мощности ветровой турбины с прямыми лопастями	22
1.2.1 Результаты расчётов.....	277
1.2.2 Обсуждение результатов расчётов	31
1.3 Факторы и барьеры по развитию возобновляемых энергоресурсов Казахстана	
1.3.1 Классификация факторов развития ВЭР.....	34
1.3.2 Оценка существующих барьеров	38
1.3.3 Повышение эффективности ВЭС	44
2. НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПОРОШКОВОГО ГРАФЕНА	
2.1 Рынок графена и графеноподобных материалов	51
2.2 Графит особенности интеркаляции	55
2.3 Микрокластерная вода	60
2.3.1 Особенности кластеризации воды.....	62
3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ	
3.1 Интеркаляция МКВ в графит в центробежном поле.....	66
3.2 Рамановская спектроскопия полученных образцов.	70
3.3 Особенности спектров КРС несколько слойных графенов.....	79
3.4 Электронная спектроскопия полученных образцов.....	87
3.5 Использование порошка графена в качестве композита.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	98

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВЭР – возобновляемые энергетические ресурсы

ВЭС – ветряная электрическая станция

ВЭУ – ветряная энергетическая установка.

ГЭС – гидравлическая электрическая станция

кВт – мощность (тысяча Ватт)

кВт-ч – киловатт-час, выработанная или потребленная электроэнергия

кВ – киловольт (тысяча вольт)

ЛЭП – линии электропередачи

МВт – мощность энергоустановки (миллион Ватт или тысяча кВт)

РК – Республика Казахстан

ФЭС – фотоэлектростанции (солнечная)

ЭС – электрическая станция

э/э – электроэнергия

МКВ - микрокластерная вода

ДВ - дистиллированная вода

СГ- синтетический графит

ПГ- природный графит ГЛ-1

ЦФ - центрифуга

ЭП - электрическое поле

КРС - спектроскопия комбинационного рассеяния

СЭМ - сканирующая электронная микроскопия

ЯМР - ядерный магнитный резонанс

ПАВ - поверхностно-активные вещества

ВВЕДЕНИЕ

В Казахстане на самом высоком уровне поставлена задача к 2050 году генерировать до 50% всей потребляемой энергии за счет увеличения инвестиций в развитие альтернативных и «зеленых» энергетических технологий.

Как отметил Президент Республики Казахстан Токаев К.К. «После кризиса энергетический сектор не будет прежним. В среднесрочном периоде движение в сторону «зеленой энергетики»- насущная необходимость» (заключительное заседание Государственной комиссии по чрезвычайному положению 11.05.2020).

Очевидно, что поставленная задача может быть выполнена только за счет развития электрических станций на этих ресурсах. При этом будут задействованы еще недогруженные линии электропередачи запроектированных на будущий рост электропотребления.

Очевидно, что одним из последствий кризиса, который будет испытывать весь мир после пандемии коронавируса, станет уменьшение глобализации рынков. Уровень поддержки интегрированной глобальной экономики начал снижаться еще до того, как пришла пандемия COVID-19, но коронавирус ускорил процесс переоценки выгод и издержек глобализации. Особенно это стало очевидным на фоне трагических событий на Украине. Фирмы, включенные в глобальные цепочки поставок, на себе испытали, насколько опасна их взаимозависимость и потери, вызванные перебоями и неурядицами. В будущем эти фирмы станут внимательнее относиться к рискам маловероятных событий, из-за чего цепочки поставок станут более локализованными и прочными — но менее глобальными. Поэтому можно предвидеть создание локальных рынков (локальных кластеров) поставщиков и потребителей особенно продуктов питания.

Кроме того, в качестве неоспоримых приоритетов станет развитие сельского хозяйства в ракурсе национальной продовольственной безопасности.

В свою очередь, развитие современного села без полноценного и бесперебойного снабжения электроэнергией представляется весьма проблематичным. Одним из слабых звеньев в этом отношении является удаленность систем энергогенерации от большинства сельских населенных пунктов. Для таких стран, как Казахстан, обладающих обширными территориями, это одна из проблем, требующих решения. В лучшем случае, электростанции располагаются в областных центрах, это приводит к тому, что протяженность линий электропередач до многих сельских районов составляет многие сотни км. Большая часть таких систем передачи достаточно изношена, что соответственно приводит к значительным потерям электроэнергии, большим затратам на поддержание их работоспособности.

Одним из путей решения этой проблемы могло бы стать строительство небольших электростанций рядом с поселком, с мощностями достаточными для снабжения этого удаленного поселка электроэнергией, включая энергообеспечение фермерских хозяйств, небольших производственных цехов, социальных объектов и жилых домов. Необходимым условием для создания таких электростанций должно стать быстрое и недорогое строительство, максимальное местное содержание используемого оборудования и недорогие энергоносители, используемые для выработки электроэнергии. Учитывая удаленность таких населенных пунктов, идеальным было бы использование в качестве энергоносителей бесплатные, такие как ветер и солнечную энергию. Как правило, среднегодовое количество часов, в течение которых вырабатывается энергия на ветровых электростанциях почти в два раза больше, чем на солнечных, в связи с чем, применение ветровых электростанций для таких целей представляется более предпочтительным. Данная проблема и

предлагаемый путь ее решения актуален не только для Казахстана, но и для многих развивающихся стран. Такое решение, было бы и своевременным, поскольку пандемией и последующий за ней кризис сделает в среднесрочном периоде движение в сторону «зеленой энергетики» насущной необходимостью.

Другой важной проблемой, кстати сдерживающей развитие ВЭР является отсутствие стабильной генерации на солнечных и ветровых турбинах электроэнергии. Это вызывает проблемы не только у потребителей электроэнергии, но и у энергетических компаний, занимающихся транспортировкой электроэнергии. Поэтому решение вопросов аккумуляции излишков электроэнергии, сглаживания суточных и обусловленных безветренной погодой перепадов электроэнергии вырабатываемых солнечными электростанциями являются до сих пор остаются актуальнейшими задачами создания эффективной системы зеленой энергетики.

В последние годы усилия многих ученых направлены на создание новых типов электрических аккумуляторов, которые в отличие от литий-ионных могли бы не только быстрее заряжаться, накапливать больший заряд, но и обладали бы большей безопасностью.

В этом направлении большие надежды возлагаются на графеновые аккумуляторы. Одним из сдерживающих факторов широкого применения композитов на основе графена является их высокая стоимость. Поэтому создание недорогих качественных графеновых материалов является одной из важных вызовов для всего мирового научного сообщества.

Одним из методов получения графена является расщепление графита, предварительно интеркалированного ионами, или молекулами других веществ. Именно этот метод получения графена вызвал наш интерес к графиту и постановки опытов по интеркаляции графита. Задача стояла сделать это без применения химикатов простыми методами используя

только графит и воду. Для того, чтобы понять путь решения этой задачи рассмотрим подробнее как сам графит, так и воду. Хотя оба этих вещества, казалось бы, очень хорошо известны и изучены, но есть некоторые особенности, которые и позволили решить поставленную задачу.

1. ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА КАЗАХСТАНА

1.1 Характеристика возобновляемых энергоресурсов Казахстана

Как известно к возобновляемым энергоресурсам (ВЭР) для использования в крупных промышленных масштабах относятся ветровая, гидравлическая и прямая энергия Солнца. В данной монографии изложены конструкционные особенности существующих ветротурбин и вопросы использования ВЭР на электрических станциях. Локальное использование их на автономных энергоустановках (удаленные мелкие потребители такие как стойбища чабанов и пр.) не рассматриваются в виду их малой доли в балансе электроэнергии (э/э) в республике.

Расчет годовой выработки э/э на ЭС производится по их номинальной мощности P_n (кВт) и так называемому числу часов в году использования этой мощности T_g (ч)

$$W = P_n \cdot T_g, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$$

Число часов в году составляет $24 \text{ ч} \cdot 365 \text{ дн} = 8760$ часов. Но поскольку все ЭС не работают равномерно по сезонам года и даже в течение суток, то T_g не может быть равным 8760ч. для всех типов ЭС, а существенно ниже. Так, для ветряных ЭС (ВЭС) в среднем T_g колеблется от 4400 ч до 2200 ч. в зависимости от ветрорегиона РК. Летом ветряная активность в республике понижается. Для гидростанций (ГЭС) оно колеблется от 3600 ч до 2100 ч. в зависимости от гидроэнергии конкретной горной реки. Зимой в отсутствии таяния снегов ГЭСы резко снижают мощность, для солнечных ЭС (СЭС) T_g изменяется от 2100 до 1500 ч. в зависимости от числа часов солнечного сияния на площадке строительства. Ночью без Солнца СЭС не работают. В таком убывающем порядке рассмотрим наличие энергоресурсов ветра, гидростанций и солнечной энергетики.

1.1.1 Ветроэнергетические ресурсы Казахстана

По характеристикам ветроэнергетического потенциала (средняя скорость ветра в году, его напор) территорию Республики можно разбить на ряд зон с характерными ветрами:

- открытые степные пространства;
- пограничные зоны полупустынь (пустынь) с большими открытыми водоемами (Каспийское море, озера Балхаш, Алаколь и др.);
- межгорные проходы и крупные ущелия восточного, юго - восточного, южного Казахстана ("Джунгарские Ворота", "Шелекский Коридор", Шокпар, Жангиз -Тобе, Кордай, Арыстан – Баб и др.);
- складчатые горы центрального и западного Казахстана (Ерейментау, Улытау, Каркаралы, Мулгажар и др.).

В связи с этим подобрать универсальные ветротурбины пригодного для использования на любой территории Казахстана весьма затруднительно. Данные по ветрам, полученные на основе обработки статистических материалов Казгидромета в советское время недостаточно корректны. Эти данные являются ориентировочными поскольку скорости ветра измерены на высоте 10 м над уровнем грунта, а измерения проводились с помощью несовершенных приборов (типа «тяжелая доска») 4 – 6 раз в сутки. Но зато статистика по годам существует более 10 лет. Необходимо пользоваться специальными измерениями по международным стандартам с помощью компьютеризованных приборов.

Необходимо отметить, что в международной практике ветроэнергетики, энергетический потенциал оценивается примерно по нижеприведенной шкале, использующей среднегодовую скорость ветра (СГСВ) в данном регионе. СГСВ определяется как скорость непрерывного, неизменного, круглогодичного ветра в данной местности и условно делится

на: низкий 4–5 м/с; средний 5–6 м/с; высокий 7–8 м/с; повышенный 8–9 м/с, избыточный более 9 м/с.

Из курса физики известно, что мощность ветрового потока пропорциональна кубу (третьей степени) скорости ветра. Так при превышении скорости ветра в два раза, его мощность повышается в восемь раз.

Для коммерческого использования ветров на ВЭС (начиная со среднего) пригодна практически вся территория Казахстана. Таким образом, можно утверждать, что при снижении стоимости ветротурбин (ВТ) ВЭС можно строить в любом месте республики.

Безусловно, что для энергетического использования наиболее перспективными являются зоны, где энергия ветров измерена по международным стандартам специальными компьютеризованными приборами. Это Шелекский ветровой коридор и, особенно, межгорный проход Джунгарские Ворота (Алматинская область) и ряд других.

В Или – Балхашском регионе есть еще два района возникновения сильных ветров. С гребня хребта Чингиз к берегам озера Балхаш срывается Коунрадский норд–ост, или Балхашская бора, аналогичная знаменитой боре у Новороссийска. Ясно, что эффективное использование потенциала этих могучих ветров будет способствовать развитию зеленой энергетики. Что касается ветрового потенциала открытой (степной) зоны Казахстана, то летом здесь ветры имеют суточное колебание, а в холодное время года – сезонное. Для ветров Казахстана с его резко континентальным климатом, со снежными бурями и гололедными явлениями нужны ВТ, приспособленными к этим условиям.

Ресурсы ветровой энергии на территории Казахстана представлены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1-Ресурсы ветровой энергии на территории Казахстана [1-3]

Категория ветров по энергии		Низкие	средние	высокие	повышенные	избыточные
СГСВ		до 4-5 м/с	5-6 м/с	7-8 м/с	8-9 м/с	более 9 м/с
Наименование области	Площадь территории, км ²					
1.Северная зона						
Акмолинская	146 300	45 500	85 200	15 500	0	0
ВКО	283 300	241 300	40 800	1 200	0	0
Карагандинская	428 000	343 100	84 600	300	0	0
Костанайская	196 000	81 500	114 500	0	0	0
Павлодарская	124 800	37 700	87 100	0	0	0
СКО	98 040	0	82 800	15 200	0	0
Всего северные области		749 100	495 000	32 200	0	0
2.Южная зона						
Алматинская	224 000	197 300	20 000	5 300	1 200	200
Жамбыльская	144 200	106 200	36 800	1 200	0	0
Кзылординская	226 000	193 100	29 100	3 800	0	0
Туркестанская	117 300	102 400	11700	3 200	0	0
Всего южные области		599 000	97 600	13 500	1 200	200
3.Западная зона						
Актюбинская	300 600	254 400	46 200	0	0	0
Атырауская	118 600	58 100	60 50	0	0	0
ЗКО	151 300	61 400	89 900	0	0	0

Мангыстауская	165 000	73 200	87 700	4 800	0	0
Всего западные области		373 900	142 150	0	0	0
Всего по ветрорегионам РК, км ² .	2 454 200 или 90%	1 722 000	680 300	50 500	1 200	200
Всего северные области %	51.9	30,5	20,1	1.3	0	0
Всего южные области %	25.4	20.4	3.9	0.5	0.05	0.001
Всего западные области %	20.8	15.1	5.7	0	0	0
Всего по РК %	98,1	68%	29.7%	1.8%	0.05%	0.001%
Удельная плотность ВЭ, МВт/ км ²		2	4	7	10	14
Мощность, МВт	7 486 300	3 590 400	3 507 600	353 500	12 000	2800
Среднее к-во часов использования ном. ч.	по РК =1888.22	1700	2000	2628	3200	4200
Выработка э/э (млн кВт-ч).	По РК= 14 098 040	6 103 680	7 015 200	929 000	38 400	11 760
В процентах % %	по РК 100	43,295	49,760	6,59	0,272	0,083
Кратность к выработке э/э всеми ЭС РК	140 раз	61 раз	70 раз	9,3 раза	0,38	0.12раз

То же, с учетом непригодных земель	22,3 раза	11 раз	9 раз	2 раз	0,2 раз	0,10 раз
------------------------------------	-----------	--------	-------	-------	---------	----------

Как видно из таблицы 1.1 практически вся территория Казахстана (90%) характеризуется коэффициентом использования установленной мощности (КИУМ) не менее 1888.2 часа, что вполне пригодна для ВЭС. В то же время общая площадь территорий с высоким ветровым энергопотенциалом в РК составляет почти 1,8%, или 48 600 кв.км. При условии, что с 1 кв. км можно получить 10 МВт мощности, перспектива ВЭ с высоким потенциалом составляет 480 600 МВт.

Таблица 1.2-Балансы генерирующих мощностей и их потребления по РК

Зоны	Население (тыс. чел)	Генерация мощности, МВт	Потребление мощности, МВт	Дефицит (-) Избыток (+)
северные области	7082	8609	8299	+690
южные области	7550	2345	3290	- 945
западные области	2610	1052	1211	+57
Баланс по РК	17 242	12 006	12 340	- 334

В северной зоне (СЗ) наиболее мощные ветрорегионы это Ерейментауский (Акмолинская область) и Шедертинский (Павлодарская область). По ним проходят и трассы мощных линий электропередач (ЛЭП) 110 кВ, 220 кВ, 500 кВ и даже уникальная в мире ЛЭП 1150 кВ. То есть существующая здесь электросетевая инфраструктура также способствует строительству ВЭС. Сейчас в Ерейментау АО «Самрук Энерго» построена ВЭС 45 МВт, идет строительство еще одной такой же ВЭС, частная компания построила ещё ВЭС примерно такой же мощности, но это только

считанные проценты от возможного. Имеется еще один отрицательный фактор. Сильные ветра имеют высокую турбулентность. Так, при турбулентности в 15% мощность ВТ может упасть на 35% [4-6].

Потенциал Южной зоны (ЮЗ) примерно 24% общего и также в 5 раз превышает современную выработку э/э. Здесь климат мягче, но зона подвержена сейсмическим явлениям (до 9 баллов). Это серьезное ограничение по использованию универсальных ВТ (западного или Китайского производства). Наиболее притягательна для ВЭ это Алматинская область. Ее ветра обладают высоким, повышенным (Шелек) и даже избыточным (Джунгарские ворота) потенциалом по ветроэнергии. В Шелекском коридоре построена ВЭС на 50 МВт, планируются строительство ещё несколько крупных ВЭС. В Джунгарских воротах установлена ВТ 400 кВт в 2000 г., но она не работает до сих пор из-за турбулентности его сильных ветров. Требуется специальная ВТ.

Потенциал ветров Западной зоны в 4 раза превышает современную выработку э/э. Но здесь низкая плотность населения, ее электросеть соответственно имеет такую плотность. Это сдерживающий фактор. ВЭС необходимо строить недалеко от городов. Сейчас в районе Форт-Шевченко планируется строительство ВЭС мощностью 42 МВт.

Следует особо подчеркнуть, что инвесторы в проектах ВЭС всех зон ориентируются на использование дорогих импортных ветротурбин. Данный фактор способствует повышению себестоимости э/э и сдерживает развитие ВЭС. Необходим поиск путей снижения себестоимости ВТ.

Некоторые энергетики считают, что в РК можно строить ВЭС, но с суммарной мощностью не более 10 % мощности всех ЭС, т.е. порядка 1300 МВт. Объясняют тем, что в отсутствии ветра небаланс должен закрываться резервными ЭС, которых в республике пока еще нет. Такое мнение является ошибочным, т.к. объединенная энергосистема (ОЭС) Казахстана не работает изолированно. ОЭС РК объединена с помощью 8 ЛЭП 500 кВ с

ОЭС России, мощность которой в 10 раз больше. Кроме того, она при помощи 3-х ЛЭП 500 кВ связана с ОЭС стран Центральной Азии. Общая пропускная способность всех ЛЭП более 10ГВт. То есть уже имеется почти 10 кратный запас. А если ОЭС РК будет соединена с ОЭС Китая, то ввод ВЭС может достичь 40ГВт, то есть в 3 раза больше мощности всех ЭС РК в настоящее время [7].

Обширность и географические особенности территории Казахстана позволяет сгладить сезонные перепады ветропотенциала, т.к. если в одной зоне ветер стихает, то в другой будет усиливаться. Например, в Алматинской области ветра Шелека и Джунгарских ворот, удаленные примерно на 700 км находятся в противофазе как показано на рисунке 1.1.[8-10].

Объединенная энергосистема (ОЭС) РК уже достаточно надежно связывает все вышеуказанные энергозоны РК, в дальнейшем связи между ними будут усиливаться, что создаст более надежный каркас и возможности по обмену мощностями ВЭС между зонами.

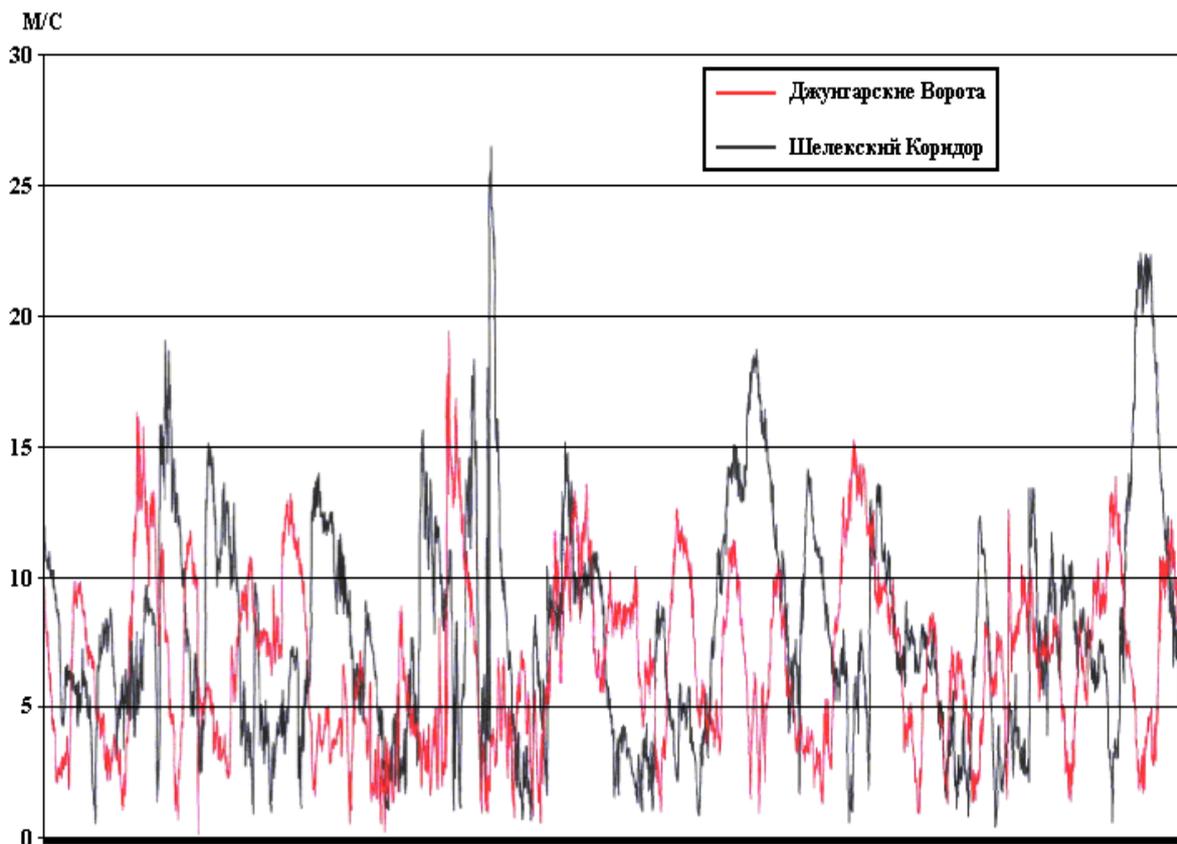


Рисунок 1.1-Одновременное сопоставление значений скоростей ветра в двух регионах Казахстана

Поэтому присоединенные ВЭС к электросетям ОЭС РК будут обеспечивать ее э/э круглосуточно без перерывов. Сочетание ВЭС и ГЭС, присоединенных к единой электросети очень перспективно. На рисунке 1.2 представлен годовой усредненный энергопотенциал гидро- и ветроресурсов[2,5. Видно, что в теплые сезоны года из-за таяния снегов и ледников увеличивается водность и мощность горных ГЭС, а в холодные сезоны - увеличивается ветровая активность в сумме дадут ровный график.



Рисунок 1.2 - Годовой усредненный энергопотенциал гидро и ветроресурсов

Как отмечено все зоны РК имеют существенные ограничения по использованию универсальных импортных ВТ. Это морозы, турбулентность сильных ветров, сейсмика. Надо добавить, что практически все электрические станции Казахстана расположены в городах, промышленных узлах. От всех ЭС радиально расходятся распределительные ЛЭП, протяженностью до 600-700 км. Потери э/э в них доходят до 20%, а в западных странах 4-6%. Поэтому ВЭС нужно строить ближе к ЛЭП разгружая их, и потери резко снизятся. Если, к примеру, мощность по ЛЭП за счет ВЭС снизить в 2 раза, потери уменьшатся в квадратичной зависимости, т.е. в 4 раза. Цена доставки и цена э/э в виду этого понизится, а надежность повысится. Это важно для всех категорий потребителей и товаропроизводителей.

В себестоимости э/э ВЭС, отсутствует стоимость сырья, что существенно снижает ее. Однако закупаемые зарубежом импортные ветротурбины и их доставка за тысячи км значительно влияет на конечную себестоимость единицы мощности электроэнергии, вырабатываемой на ВЭС. В виду чего желательно отказавшись от их импорта, производить их в

РК. Это будет способствовать снижению себестоимости выработки единицы электроэнергии при помощи ВЭС.

Как видно из приведенной таблицы 1.1 потенциал ветровой энергии Казахстана в 500 с лишним раз превышает современное потребление электроэнергии республики.

На рисунке 1.3 приведены данные специального измерения ветров в 10 различных регионах Казахстана с помощью специальных компьютеризованных логгеров на высоте о 51 и 22 метра над уровнем грунта.

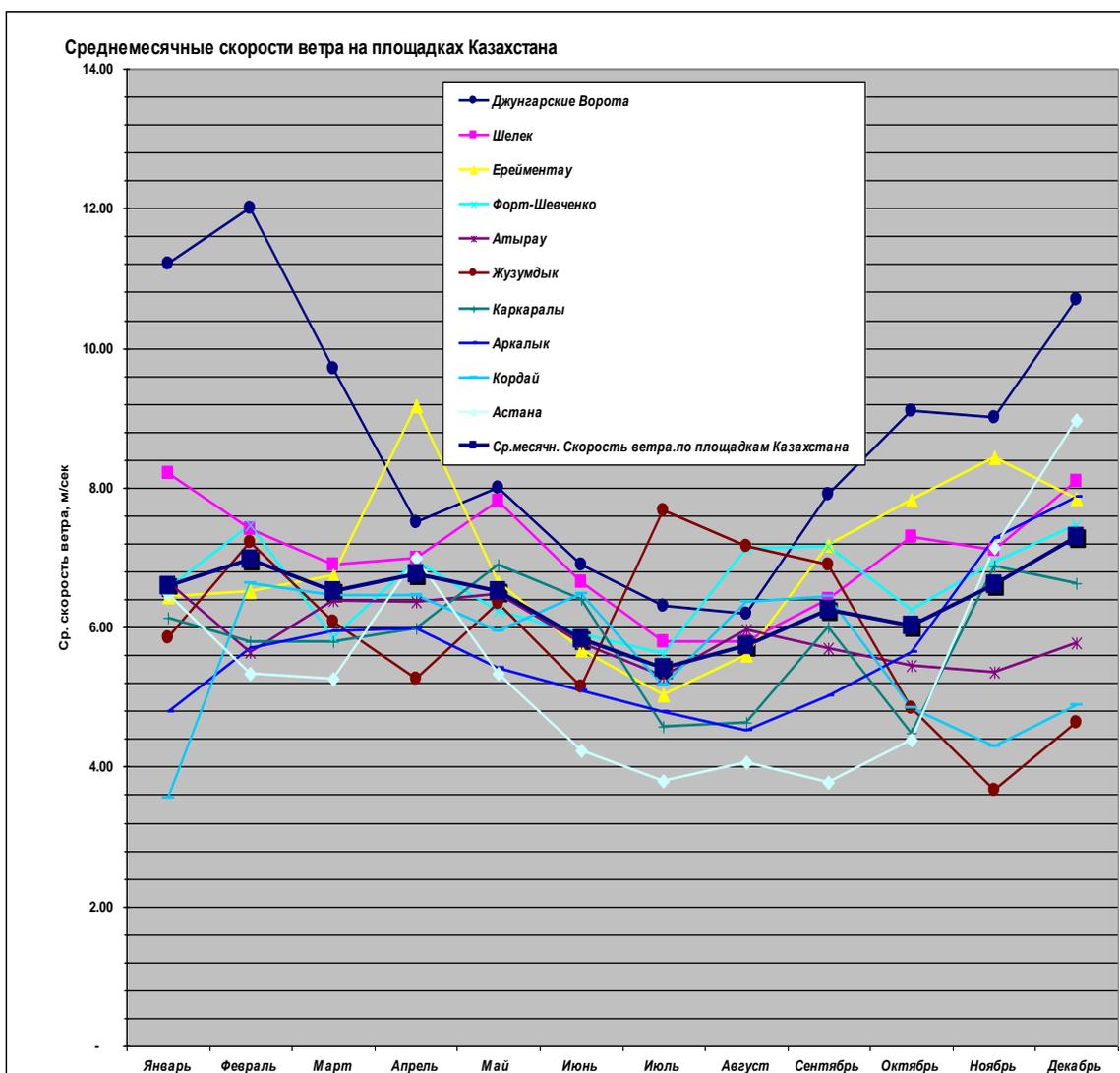


Рисунок 1.3-Измерения энергии ветров на 10-ти различных площадках Республики Казахстан

Эта работа впервые в Казахстане начата в 1997-99 гг. Была измерена энергия ветров в наиболее энергонасыщенных регионах РК – в Джунгарских ворот и в Шелекском коридоре совместно со специалистами ветроэнергетики из Дании, которые провели обработку полученных данных с 2005 по 2009 годы [5,8,10].

Как можно видеть четыре региона имеют ветропотенциал выше среднего по Казахстану – это Джунгарские Ворота - тонкая синяя линия, Шелекский ветровой коридор в Алматинской области красная линия, район г. Ерейментау – желтая линия (Акмолинская область), Форт-Шевченко – голубой цвет (Мангистауская область). Далее в порядке убывания идут – Атырау, Жузымдык (ЮКО), Каркаралы, Аркалык, Кордай (Джамбульская Обл.), Астана. Сильные ветра при среднегодовой скорости свыше 6 м/с наблюдаются на стыке Алматинской и Жамбылской областей в предгорной зоне, а также в центральном Казахстане (большая зона, растянутая на тысячу километров с северо-востока на юго – запад, и шириной до 250 км.) середина ее приходится западнее Астаны.

В равнинных зонах республики (Костанай, Актобе) среднегодовая скорость ветра составляет примерно 5 м/с с понижением в летнее время, в предгорных зонах юга республики он составляет до 7 м /с также с понижением в теплое время года. По этим данным создан атлас ветров РК [10].

На рисунке 1.4 представлены атласы ветров Казахстана, выполненные с помощью компьютеризованных логгеров измерения скорости и направления ветров. Здесь данные записывались каждую секунду, на высоте 50 м в течение года. Эти карты могут быть полезны для выбора места и площадок строительства ВЭС. Эти измерения проведены по программе ПРООН и Правительства Казахстана «Развитие рынка ветроэнергии в Казахстане» в 2006 -2008 гг.

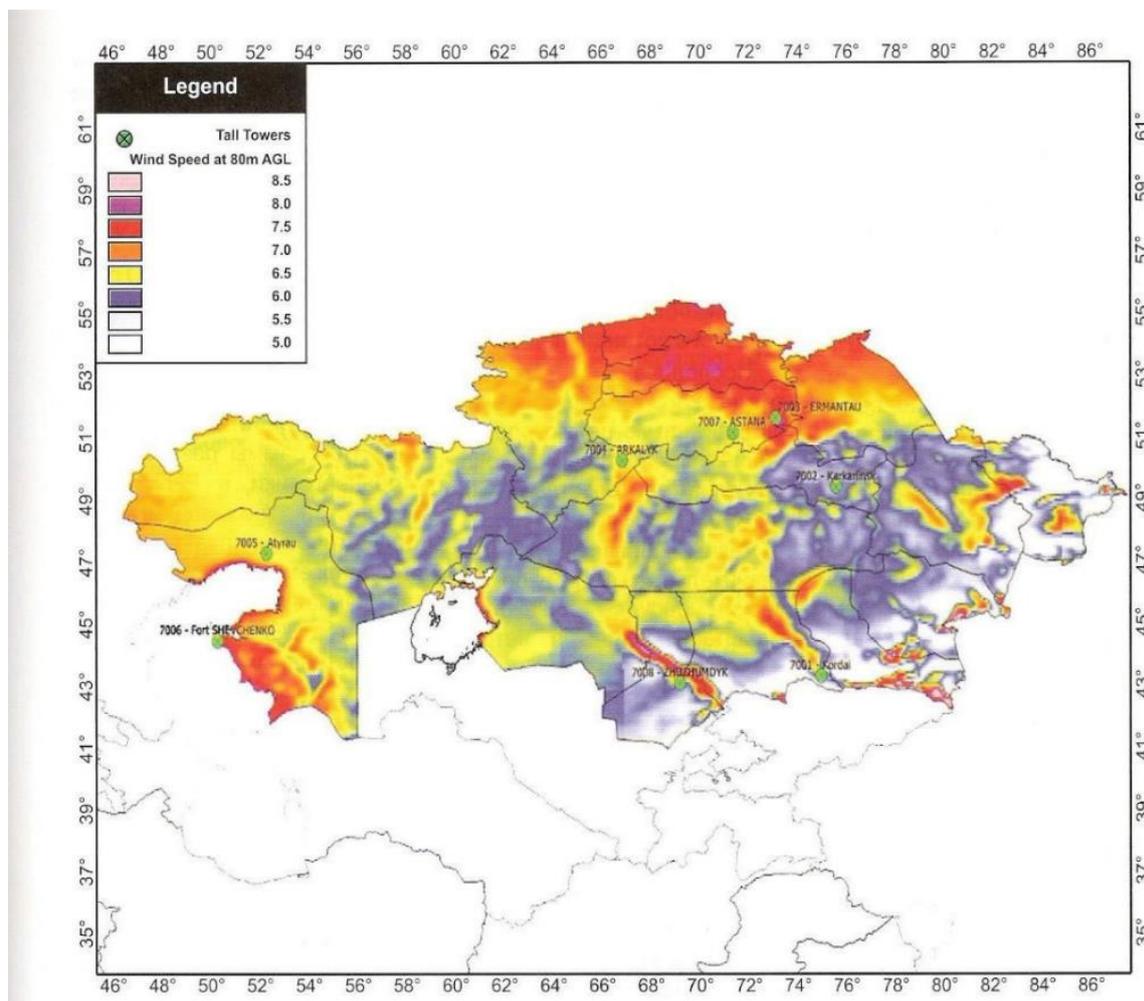


Рисунок 1.4-Атлас ветров Казахстана

В таблице 1.3 показаны значения средних удельных мощностей ветра, приходящихся на один квадратный метр. Т.к. мощность ветрового потока пропорциональна кубу скорости ветра, то усиление ветра в 2 раза увеличивает ее мощность в 8 раз. Данные приведены для метеостанций на высоте 10м над уровнем местности.

Таблица 1.3-Средние удельные мощности ветра

Метеостанция	Мощность ветра Вт/ м2	Метеостанция	Мощность ветра Вт/ м2	Примечания
1.Аксуран	358	7.Жангиз тобе	860	
2.Уялы	317	8.Достык	536	

3.Шалкар	309	9.Мулгажар	483	
4.Степногорск	385	10.Форт Шевченко	635	
5.Аркалык	406	1.Жаланашколь	1550	
6.Кордай	390	12.Шокпар	447	

По степени убывания они располагаются 1.Жаланашколь 2.Жангиз тобе 3.Форт Шевченко 4.Достык 5.Мулгажар 6.Шокпар 7.Аркалык 8.Кордай 9.Степногорск 10.Аксуран 11.Уялы 12. Шалкар.

1.2 Расчёт мощности ветровой турбины с прямыми лопастями

В настоящее время, ветровые турбины больших мощностей (от 200 кВт и выше) имеют лопасти в виде винтов. Будем называть их классическими турбинами. Мощности таких лопастей рассчитываются по формуле

$$N = \frac{k\rho S V^3}{2}, \quad (1-1)$$

где N- мощность турбины, ρ - плотность воздуха, V- скорость ветра, k- коэффициент, подбираемый турбине опытным путем и равный примерно 0,2, $S = \pi r^2$ - площадь ометаемая лопастями, здесь r – длина лопасти. Из уравнения (1-1) следует, что увеличения мощности можно достичь путем увеличения длины лопастей. Так, турбины мощностью 2 МВт имеют лопасти длиной до 40 метров. Очевидно, что это будет приводить, в конечном счете, к уменьшению прочности самих лопастей турбины, удорожание их доставки и к трудностям составления логистических маршрутов и значительных расходов на монтаж. В регионах с сильными,

порывистыми ветрами, например, в Джунгарских воротах Казахстана, возможность применения таких турбин вызывает сомнения.

Между тем, в турбинах больших мощностей можно использовать прямые лопасти, имеющие форму крыла. Один из возможных вариантов ветровой турбины с прямыми лопастями показан на рисунке 1.5. Применение таких лопастей предлагались в ряде статей и патентах [4] [6] [9] [11] [12] [13] [14], однако до настоящего времени на практике их не применяли. Данная работа призвана дать прогнозы по мощностям, частотам вращения лопастей при различных конфигурациях таких лопастей.



Рисунок 1.5- Возможная конструкция ветровой турбины с использованием прямых лопастей.

Предполагается, что ветер дует вдоль оси ветровой турбины, обдувая лопасти, как обдувает воздушный поток крылья самолетов. На этой турбине четыре лопасти, посажены на ось таким образом, чтобы подъемные силы всех лопастей создавали моменты сил направленные вдоль оси турбины в одну и ту же сторону. Условно, если для правой лопасти выпуклая часть крыла направлена вверх, то для левой лопасти, выпуклая часть направлена вниз, с тем, чтобы моменты подъемных сил обеих лопастей были направлены в одну сторону. То же самое для двух других лопастей. Как будет показано ниже, мощность таких ветровых турбин рассчитывается по формуле

$$N_R = \frac{K_1 \rho S V^3}{2},$$

Видно, что данное уравнение аналогична уравнению (1-1). При этом коэффициент K_1 равен

$$K_1 = \frac{4\lambda q \sqrt{6}}{9\pi} \sqrt{\lambda / \mu}$$

Здесь λ - коэффициент подъемной силы, μ - коэффициент сопротивления воздуха, q - отношение ширины лопасти к ее длине.

Преимущество таких лопастей в их большей прочности, поскольку мощность таких турбин требует, как будет показано ниже, не столько увеличения длины лопасти, сколько увеличения площади лопасти, что естественным образом приводит к увеличению ее прочности. Одной из возможной области применения ветровых турбин с такими лопастями могли бы стать, как раз отдаленные сельские поселки, в Казахстане, к примеру, более 50 тыс. квадратных километров имеет хороший ветровой потенциал, который теоретически может быть использован для выработки около 900 тыс. ГВт-ч электроэнергии в год.

В статье [15] были сделаны расчеты мощности турбины, имеющей форму лопасти в виде прямоугольного крыла самолета. При вращении лопасть движется, рассекая воздух плашмя всей своей плоскостью. Поэтому, сила сопротивления воздуха при больших оборотах будет значительной. Таким образом, с одной стороны, чем больше площадь лопасти, тем больше подъемная сила, которая создает вращательный момент, но при этом больше сопротивление воздуха. Возможно, при конфигурациях, когда лопасть будет в форме треугольника, или трапеции, соотношение между подъемной силой и силой сопротивления воздуха будет более оптимальным, для увеличения мощности ветровых турбин. Для проверки такого предположения выведем формулу для мощности ветровой турбины для более сложной конфигурации лопасти в виде равнобедренной трапеции. Нижнюю сторону лопасти прикрепленной к оси турбины, будем считать нижним основанием трапеции, обозначим ее длину b . Длину верхнего основания обозначим буквой a . Тогда, создаваемая потоком ветра подъемная сила будет направлена перпендикулярно плоскости лопасти и определяться по формуле

$$dF = \frac{\lambda \rho ds V^2}{2},$$

где dF -подъемная сила, действующая на участок лопасти, представляющий из себя прямоугольник с длинным основанием параллельным основанию трапеции на расстоянии l от оси, λ - коэффициент подъемной силы, определяемый экспериментальным путем, ds - площадь участка лопасти. $ds = xdl$, где x – ширина лопасти на расстоянии l от оси, $x = b - \frac{l}{r}(b-a)$. В расчетах мы взяли коэффициент λ равным 3.

Момент сил, создаваемый подъемной силой равен:

$$dM = ldF$$

где dM - момент сил.

Мощность подъемной силы будет равна:

$$dN = \omega dM = l \omega dF = \frac{\lambda \rho \omega V^2}{2} [b l dl - (b-a) \frac{l^2 dl}{r}], \quad (1-2)$$

где ω - угловая скорость вращения лопастей. Интегрируя выражение (1-2) от 0 до r - длины лопасти, получим:

$$N = \frac{\lambda \rho V^2 \omega r^2}{4} \frac{(b+2a)}{3}$$

Переходя от угловой скорости к частоте вращения в единицах обороты в минуту- ν , получим:

$$N = \frac{\lambda \rho V^2 \pi \nu r^2}{120} \frac{(b+2a)}{3}, \quad (1-3)$$

Поскольку, площадь лопасти большая, при вращении сила сопротивления воздуха, как уже отмечалось, будет существенная, поэтому рассчитаем ее значение. Для пластины площадью $ds = x dl$ сила сопротивления df равна:

$$df = \frac{\mu \rho U^2 ds}{2}$$

где μ -коэффициент сопротивления, для плоской пластины примерно равен 1,2. U - линейная скорость участка лопасти $ds = x dl$. Очевидно, $U = \omega l$. Момент сил сопротивления, действующий, на площадку ds будет равен:

$$dM_c = l df = \frac{\mu \rho \omega^2}{2} [l^3 b - \frac{l^4}{r} (b-a)] dl$$

Полный момент сил сопротивления на всю лопасть будет:

$$M_c = \frac{\mu \rho \omega^2 r^4}{8} \frac{(b+4a)}{5}$$

Переходя от угловой скорости ω к частоте вращения ν , выраженной в оборотах в минуту получим:

$$M_c = \frac{\mu \rho \pi^2 \nu^2 r^4}{7200} \frac{(b+4a)}{5}$$

Также переходя от угловой скорости к частоте вращения, выраженной в оборотах в минуту для мощности сил сопротивления N_c , получим выражение

$$N_c = \omega M_c = \frac{\mu \rho \pi^3 v^3 r^4 (b + 4a)}{216000 \cdot 5}, \quad (1-4)$$

1.2.1 Результаты расчётов

Из формулы (1-3) и (1-4) видно, что общая мощность ветровой турбины из четырех лопастей, таким образом, будет равна

$$N_R = 4(N - N_c) = A v V^2 - B v^3, \quad (1-5)$$

где коэффициенты A и B берутся из формул (1-3) и (1-4):

$$A = \frac{\pi \lambda \rho r^2 (b + 2a)}{30 \cdot 3}, \quad (1-6)$$

$$B = \frac{\pi^3 \mu \rho r^4 (b + 4a)}{54000 \cdot 5}, \quad (1-7)$$

Частота вращения турбины при данной скорости определялась как частота, при которой суммарная мощность N_R становилась максимальной при данной скорости ветра, т.е. когда минимизировалось действие сил сопротивления воздуха. Анализ производной мощности по частоте из формулы (1-5), показывает, что точка экстремума мощности будет при частоте:

$$v = V \sqrt{A/(3B)}, \quad (1-8)$$

Подставляя это значение частоты в формулу (1-5) получим:

$$N_R = \frac{2AV^3}{3\sqrt{3}} \sqrt{A/B},$$

Подставляя в формулу (1-8) значения A и B из формул (1-6) и (1-7), получим:

$$N_R = \frac{4\lambda r}{27} \sqrt{\frac{10\lambda(b+2a)^3}{\mu(b+4a)}} \frac{\rho V^3}{2} \quad (1-9)$$

Проанализируем зависимость мощности турбины от конфигурации лопасти.

Зависимость мощности N_R от конфигурации лопасти выражается частью подкоренного выражения в формуле (1-9):

$$\sqrt{\frac{(b+2a)^3}{(b+4a)}} = \sqrt{\frac{b^3(1+2\varepsilon)^3}{b(1+4\varepsilon)}} = b \sqrt{\frac{(1+2\varepsilon)^3}{(1+4\varepsilon)}} \quad (1-9')$$

Где $\varepsilon = a/b$ – отношение верхнего и нижнего основания трапеции. Очевидно, что

$0 < \varepsilon < 1$, простой анализ показывает, что в этих пределах подкоренное выражение – это монотонная возрастающая функция, значение которого меняется от 1 до 5,4. Корень в выражении (1-9), соответственно меняется от минимального значения, равного 1 при $a = 0$ (лопасть в виде треугольника) до максимального значения равного 2,3 при $a = b$ (прямоугольная форма лопасти).

Таким образом, можно сделать вывод, что в случае прямых лопастей, наибольшей мощностью обладают прямоугольные лопасти, их мощность, например, в 2,3 раза больше, чем у турбин, обладающих треугольной формой. Соответственно дальнейший анализ делается для таких лопастей ветровых турбин, имеющих прямоугольную форму лопасти.

Если $a = b$, т.е. для случая прямоугольной лопасти, площадь ее будет равна $s = br$, соответственно получим:

$$N_R = \frac{K\rho s V^3}{2} \quad (1-10)$$

Таким образом, для прямоугольных лопастей мы получили формулу похожую на формулу для ветровых турбин вида (1), где коэффициент K определяется по формуле:

$$K = 4/9\sqrt{6}\lambda\sqrt{\lambda/\mu}, \quad (1-11)$$

Однако в отличие от формулы (1-1), где фигурирует площадь ометаемая лопастями S , в формуле (1-10) фигурирует площадь лопасти s . Подставляя принятые значения для коэффициентов подъемной силы и сопротивления воздуха, получаем, что $K=5,1$.

Из формулы (1-8) получим, что значения частоты вращения, выраженные в оборотах в минуту, будут равны:

$$\nu = 12,3V / r, \quad (1-12)$$

Из формулы (1-12) следует, что частота вращения турбины обратно пропорциональна длине лопасти и не зависит от ее ширины. Формулу (1-10) можно привести к виду эквивалентному формуле (1-1). Для этого введем параметр отражающий отношение ширины лопасти к длине $q = b/r$. Тогда формула (1-10) примет вид:

$$N_R = \frac{Kq}{2\pi} \rho \pi r^2 V^3 = \frac{K_1 \rho S V^3}{2}, \quad (1-13).$$

Здесь

$$K_1 = Kq/\pi = \frac{4\lambda q\sqrt{6}}{9\pi} \sqrt{\lambda/\mu}, \quad (1-14)$$

Попробуем оценить, какие должны быть параметры прямых прямоугольных лопастей, чтобы ветровые турбины с такими лопастями давали сопоставимые мощности с классическими ветровыми турбинами. Главным преимуществом ветровых турбин, кроме прочности лопастей должна стать недорогое производство и простая логистика. Поэтому будем предполагать, что при изготовлении ориентируются на доставку тралом

длиной 20 м. Если, к примеру, при длине 20 м, ширина лопасти будет 4 м, то $q = 0,2$ и соответственно коэффициент $K_1 = 0,32$. Выше мы писали, что для классических турбин, коэффициент примерно равен $k = 0,2$. Если длина лопасти классической турбины 40 м, то отношение мощностей турбин будет

$$N/N_R = \frac{k/K_1}{(R/r)^2} = \frac{0,2/0,32}{(40/20)^2} = 2,5$$

Т.е., мощность классической турбины больше в 2,5 раза. Если увеличить ширину прямой лопасти в два раза и вместо 4 м сделать 8 м, то $K_1 = 0,64$ и, соответственно отношение мощностей станет 1,25, т.е. уменьшение мощности ветровой турбины с прямыми лопастями по сравнению с классическими будет всего на 25%.

Используя формулы (1-12), (1-10) и коэффициент (1-11) была составлена программа для расчёта мощности ветровой турбины и выработки энергии $W = N_R T$, где T - время в течение которого дует ветер с данной скоростью. Вероятности ветров, для оценки выработки энергии (W) для различных регионов, измеренные специалистами компании РВ Power для ПРООН Казахстан можно найти на сайте Министерства энергетики Республики Казахстан [9]. В работе [1] приведены вероятности ветров в Джунгарских воротах, проведенных специалистами датской лаборатории Riso National Laboratory. Все данные относятся к высоте 50 метров над уровнем земли.

Поскольку, для сельских местностей, потребляемые мощности не очень большие, главными приоритетами, при выборе турбин станут дешевизна изготовления и строительства, а также высокая прочность лопастей, недорогая и удобная логистика. В связи с этим были сделаны расчеты для небольших турбин, с лопастями длиной 13 м и шириной 5 м. Ниже приведены данные, полученные в результате расчетов для нескольких регионов. Видно, что мощность такой ветровой турбины достигает 1 МВт,

что достаточно для обеспечения электроэнергией небольшого населенного пункта. Предполагается, что при достижении скорости ветра 17 м/с электрогенераторы отключаются, поскольку при более высоких скоростях требуется более мощные электрогенераторы, стоимость которых не оправдывается вырабатываемой при этих скоростях электроэнергией. Дело в том, что вероятности таких ветров очень малы и выработка энергии, соответственно небольшая. Это обычная практика для всех ветровых турбин, когда, начиная со скоростей около 15 м/с, турбина не наращивает мощность, за счет специального ухудшения угла атаки лопастей, а при 25 м/с, вовсе отключают электрогенераторы. Все это связано с распределением вероятности ветров.

1.2.2 Обсуждение результатов расчётов

В таблице 1.4 представлены рассчитанные значения частот вращения лопастей v , мощности N_R и вырабатываемой электроэнергии W в зависимости от силы ветра. Расчеты проведены для трех регионов Казахстана: г. Форт Шевченко (берег Каспийского моря), поселок Кордай в Джамбульской области и в Джунгарских воротах. Видно, в частности, что частоты вращения имеют вполне приемлемые величины.

Таблица 1.4-Рассчитанные значения частот вращения лопастей, суммарной мощности и выработки электроэнергии при различных скоростях ветра для турбины с лопастями длиной 9 м и шириной 7 м.

V (м/с)		5	7	9	11	13	15	17	За год
Форт Шевченко	v (об/м)	5	11	14	17	20	24	27	
	N_R (кВт)	150	105	223	408	673	1035	1506	
	W (МВт*час)	79	55,3	93,9	89,3	88,4	72,5	26,4	956,8

Кордай	v (об/м)	5	11	14	17	20	24	27	
	N_R (кВт)	150	105	223	408	673	1035	1506	
	W (МВт час)	56,6	27,6	43	53,6	58,9	45,3	26,4	621,6
Джунгарские ворота	v (об/м)	5	11	14	17	20	24	27	
	N_R (кВт)	150	105	223	408	673	1035	1506	
	W (МВт час)	81,7	82,9	160,5	232,1	235,8	271,8	195,7	1657,2

Таблица 1.5- Рассчитанные значения частот вращения лопастей, суммарной мощности и выработки электроэнергии при различных скоростях ветра для турбины с лопастями длиной 20 м и шириной 7 м.

V (м/с)		5	7	9	11	13	15	17	За год
Астана	v (об/м)	3	4	6	7	8	9	11	
	N_R (кВт)	55	151	319	588	972	1492	2166	
	W (МВт час)	60,0	151,4	212,6	206,1	170,3	52,3	37,9	1 746,5
Ерей-ментау	N (об/м)	3	4	6	7	8	9	11	
	N_R (кВт)	55	151	319	588	972	1492	2166	
	W (МВт час)	32,8	88,0	138,4	182,6	130,9	258,3	483,6	2 127,8
Джунгарские ворота	N (об/м)	3	4	6	7	8	9	11	
	N_R (кВт)	55	151	319	588	972	1492	2166	
	W (МВт час)	30,0	118,7	228,5	334,8	332,6	392,0	284,8	3 276,4

Для сравнения эффективности ветровых турбин с прямыми лопастями и классических турбин, можно воспользоваться данными приведенными датскими учеными. Для ветровой турбины мощностью 1 МВт производства Bonus их прогноз выработки энергии в Джунгарских воротах составляет 4 400 МВт час. Из таблицы 1.4 видно, что наши расчеты выработки энергии ветровой турбины с прямыми лопастями для Джунгарских ворот дают величину 1 657 МВт час. Но надо учитывать, что у классической турбины мощностью 1 МВт лопасти имеют длину, достигающую 30 метров, против 9 метров у турбины с прямыми лопастями. Стоимость покупки электроэнергии, вырабатываемых ветровыми электростанциями на сегодняшний день в Казахстане составляет около 5 центов за кВт час. Т.е. турбина Bonus будет генерировать электроэнергию в год на сумму 220 000\$, ветровая же турбина с прямыми лопастями – на сумму около 82 850\$. Стоимость классических ветровых турбин мощностью 1 МВт с доставкой в Казахстан будет около 1,8 миллионов \$, что делает срок окупаемости таких турбин не менее 8 лет. За восемь лет ветровая турбина с прямыми лопастями выработает электроэнергии на 663 000\$, что по нашим расчетам также гарантированно окупит затраты на ее изготовление.

В таблице 1.5 приведены расчеты для турбины с четырьмя лопастями длиной 20 м и шириной 7 м для трех регионов: вблизи города Астана, Ерейментауский район Акмолинской области и в Джунгарских воротах. Видно, что для такой турбины потребуются электрогенератор мощностью около 2 МВт. Для сравнения эффективности такой ветровой турбины возьмем те же данные датских ученых, рассчитанные для классической турбины производства компании Vestas, мощностью 1,8 МВт. По их прогнозам, такая турбина сможет генерировать около 8 000 МВт час электроэнергии против 3 276 МВт час, которую будет вырабатывать ветровая турбина с четырьмя прямыми лопастями (таблица 1.5). В денежном выражении, ветровые турбины будут вырабатывать

электроэнергию соответственно на 400 000\$ и 162 500\$. Длина лопастей у ветровой турбины Vestas около 40м, что делает турбины с прямыми лопастями более привлекательными в условиях сильных, порывистых ветров например, Джунгарских ворот.

1.3 Факторы и барьеры по развитию возобновляемых энергоресурсов Казахстана

1.3.1 Классификация факторов развития ВЭР

Прежде чем поднимать вопросы повышения эффективности ВЭР необходимо разобраться с факторами и барьерами для развития возобновляемых энергоресурсов РК

Такая классификация была подготовлена профессором Комбаровым М.Н. в отчете Проект Правительства Казахстана и ПРООН/ГЭФ «Устранение барьеров по развитию ветроэнергетики Казахстана», (1997-99). Проблемы, которые были в эти годы, в настоящее время уже отпали. Теперь созданы достаточно притягательные условия по развитию ВЭР и привлечения в них инвестиций. Большею частью это относится к экономическим категориям – покупательная способность сельского населения еще низка, вопросы экспорта э/э. Технические категории - состояние электросетей, давление монополизированных структур, а вопросы производства оборудования ВЭР в Казахстане наименее разработаны.

В таблице 1.6 показаны компоненты барьеров на их пути (1, 2,...8).

Зеленым цветом показаны те из них, которые уже устранены.

Желтым - находящихся в процессе устранения.

Красным - еще не устраненные

Для более точного определения степени необходимости устранения, каждый барьер разделен на три части, что более объективно отражает картину состояния вопроса

Таблица 1.6 - Существующие барьеры развития возобновляемых энергоресурсов Казахстана

Барьеры*	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Экономические	Green	Green	Yellow	Green	Red	Yellow	Green	Green
2 Законодательные	Green							
3 Технические	Yellow	Green	Yellow	Green	Red	Red	Yellow	Green
4 Ветрогидроресурсы	Green	Orange	Green	Green	Red	Red	Red	Green
5 Институциональные	Green	Yellow	Red	Yellow	Green	Green	Red	Red
6 Организационные	Green							
7 Кадры	Green	Yellow	Green	Yellow	Green	Green	Green	Green
8 Производство оборудования ВЭР	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
9 Административные	Green	Yellow						
10 Поддержка инвестиций	Green							
<p>*Расшифровка факторов и барьеров</p> <p>1. Экономические.</p> <p>1-1. Наличие дефицита электроэнергии.</p> <p>1-2. Рост экономики .</p> <p>1-3. Рост электропотребления.</p> <p>1-4. Платежеспособность потребителей.</p> <p>1-5. Рост цен на энергоносители.</p> <p>1-6. Рост цен на э/э.</p> <p>1-7. Малый темп производства э/э.</p> <p>1-8. Экспортные возможности.</p> <p>2. Законодательные.</p> <p>2-1.Закон «Об энергосбережении».</p>								

- 2-2. Закон «Об электроэнергетике».
- 2-3. Закон «О поддержке использования возобновляемых энергоресурсов».
- 2-4. Земельный Кодекс РК,
- 2-5. Закон об охране окружающей среды.
- 2-6. Закон о защите прямых инвестиций.
- 2-7. Киотский Протокол о снижении выбросов парниковых газов.
- 2-8. Водный Кодекс РК.
- 3. Технические.
- 3-1. Состояние электросетей и подстанций.
- 3-2. Мощность электросетей (мощность к.з).
- 3-3. Уровень эксплуатации электросетей.
- 3-4. Наличие резерва мощностей.
- 3-5. Качество электроэнергии - отклонения частоты и напряжения.
- 3-6. Наличие монтажных организаций.
- 3-7. Экологические аспекты.
- 3-8. Железные и автодороги.
- 4. Ветро и -гидро энергоресурсы.
- 4-1. Данные на основе статистики гидро и метеослужб и гидрографам рек.
- 4-2. Специальные измерения ветров по международным стандартам.
- 4-3. Климатические условия.
- 4-4. Сейсмические условия.
- 4-6. Территории с отличными ветрами %.
- 4-7. Территории с хорошими ветрами и гидроресурсами.
- 4-8. Территории со средними ветрами и отсутствие гидроресурсов.
- 5. Институциональные.
- 5-1. Банк развития РК.
- 5-2. Национальный Инновационный Фонд РК.
- 5-3. Инвестиционный Фонд Казахстана.
- 5-4. Страховой Фонд инвестирования.
- 5-5. Проектные организации.
- 5-8. Возможные местные инвесторы и Банки второго уровня, зарубежные банки
- 6. Организационные.
- 6-1. Лицензирование проектирование объектов ВЭР.

- 6-2. Лицензирование на строительство и монтаж ВЭР.
- 6-3. Лицензирование на эксплуатацию.
- 6-4. Лицензирование на продажу э/э.
- 6-5. Лицензирование консалтинговых услуг.
- 6-6. Создание концепции по развитию гидроэнергетики.
- 6-7. Постановление Правительства РК О развитии ветроэнергетики.
- 7. Наличие и подготовка кадров.
- 7-1. Подготовка кадров с высшим образованием.
- 7-2. Подготовка кадров монтажников и строителей.
- 7-3. Подготовка кадров эксплуатационников.
- 9. Административные.
- 9-1. Поддержка Правительства. Программа развития энергетики 2030,
- 9-2. Поддержка региональных Акиматов:
 - план развития энергетики Алматинской области;
- 9-3. Поддержка Акиматов местных органов.
- 9-4 Низкая компетенция исполнительных органов и непрофессионализм.
- 10. Поддержка инвестиций
- 10-1 Закон о защите прямых инвестиций.
- 10-2. В соответствии с Законом РК от 06.12.01 № 264-11 Республика Казахстан является членом в МВФ, МБРИР, МФин.Корп., МАССР, Многостороннем агентстве гарантии инвестиций,
- 10-3. Законом РК от 30.12.99 №24-11 Казахстан ратифицировал Конвенцию о защите прав инвестора (г. Москва, 28.03.97.)
- 10-4. Указом Президента РК от 30.06.98 № 3985 образован Совет иностранных инвесторов при Президенте Республики Казахстан (с изменениями, внесенных в соответствии с Указом Президента РК от 20.03.2000г. № 364).
- 10-5. Постановлением Правления Национального Банка Республики Казахстан от 31.03.02. №88 утверждены «Правила регистрации валютных операций, связанных с движением капитала».
- 10-6. Инвестиционную деятельность в электроэнергетике поддерживают ряд законов Республики Казахстан.
- 10-7. Закон РК от 06.03.97 № 82-1 «Об инвестиционных фондах в Республике Казахстан (внесены изменения Законом РК 2154-1 от 11.07.97)

1.3.2 Оценка существующих барьеров экономические

Финансовые риски проектов использования ВЭР минимизируются при условии выполнения технических решений и использования рычагов государственной поддержки. В настоящее время как экономически, так и технически складываются условия по использованию ВЭР.

Остановимся на технико-экономических предпосылках развития ВЭР.

а) В связи с ростом потребления э/э, а также настоятельной необходимостью в коренной реабилитации энергетики с большими инвестициями, в республике наблюдается рост тарифов и, по оценке независимых экспертов, ожидается его удвоение уже через 6 – 7 лет. Очевидно, что этот болезненный, но объективно необходимый процесс ляжет не только на потребителей электроэнергии, но частично должно компенсироваться за счет бюджета государства. В связи с ростом тарифов сроки окупаемости проектов существенно сокращаются. Правительством РК принято постановление о ценах покупки э/э по повышенным фиксированным ценам специальным Расчетно- финансовым центром на 15 лет.

б) Объекты ВЭР имеют важные технологические особенности. В связи с этим у них помимо продажи э/э появляются дополнительные возможности получения прибыли за счет: не выбросов в атмосферу, «парниковые газы» CO₂ поскольку его специфика состоит в том, что не нужны транспортные расходы. Казахстан ратифицировал Киотский Протокол по проблемам глобального изменения климата.

с) Торговли регулируемой реактивной энергии. Для условий Казахстана с очень протяженными ЛЭП существует проблема избытка реактивной мощности, ухудшающая качество электроэнергии, напряжение на концах ЛЭП превышают допустимые значения по нормам эксплуатации.

АГ ВЭС имеют возможности по поглощению реактивной мощности, в том числе и в безветренную погоду.

d) ВЭС и СЭС имеют короткий срок их строительства (до года), что существенно повышает их фондоотдачу и эффективность использования заемных финансовых средств.

e) Капитальные затраты на ЭС можно существенно понизить путем использования на них комплектующих изделий, изготавливаемых на заводах Казахстана.

f) Сочетание ГЭС и ВЭС очень удачное, оно позволяет выравнивать их суммарную выработку э/э в разрезе года. Малые эксплуатационные затраты, снижающие себестоимость выработки э/э. Как известно в эксплуатационные расходы входят на зарплату обслуживающего персонала. Эксплуатационный персонал ВЭС и ГЭС очень мал, а некоторые станции вообще могут работать в автоматическом режиме без персонала.

Законодательные.

a) В настоящее время существует пакет законов, практически необходимых для инвестирования и развития ВЭ: -Закон РК «Об электроэнергетике» от 09.07.04.,-Закон РК «Об энергосбережении». № 210-1 от 25.12.97,-Закон РК «О защите прямых инвестиций» от 08.01.03. № 373, Закон РК «О поддержке развития возобновляемых источников энергии», 2009.Помимо того имеется ряд законов «О защите окружающей среды», Земельный Кодекс, Водный Кодекс также имеющие прямое касательство к ВЭР. Киотский (Парижский) Протокол (КП).

Очевидно, что присоединение к приложению «В» КП выведет нас на международный рынок продаж квот на выбросы Парниковых газов. Правительственными органами РК предпринимаются все доступные стране меры по использованию его выгод.

Производство оборудования ВЭР.

Пока тарифы на э/э в республике еще существенно ниже мирового уровня. В виду этого необходимо удешевлять применяемые объекты ВЭР. А это упирается в вопрос возможности производства компонентов ВЭР в Казахстане. Так для ВЭУ можно производить: а) башни для универсальных ВЭУ. б) Производство специальных ветротурбин для Джунгарских ворот по казахстанским разработкам и чертежам, в) Производство компонентов и лопастей ветротурбин. г) Производство фотопанелей.

Оценка энергоресурсов, ветров по международным стандартам.

Пока такие исследования проведены для 12 ветрорегионов и площадок в Казахстане. Исследования по определению энергopotенциалов ветров Джунгарских ворот и Шелекского коридора, проведенные в 1997 – 99 гг. независимыми экспертами из Дании (институт атмосферы RISO), показали результаты в 2 – 8 раза превышающие потенциалы ветровых площадок зарубежных ВЭС. По их мнению, это лучшие по энергopotенциалу ветров площадки в мире. При всех прочих равных условиях себестоимость электроэнергии будет составлять до 50% зарубежных станций.

Развитие международной кооперации.

Несмотря на достаточную развитость отдельных машиностроительных комплексов предстоит проводить работу по лизингу производства отдельных компонентов ВЭР на заводах Казахстана.

Тарифы на услуги по транспорту э/э от ВЭР сведены к нулю. Необходимый же энергopotенциал ветров для ВЭС в Казахстане имеется практически по всей ее территории, а в Южной зоне к тому же имеются большие возможности по строительству МГЭС. Эти виды энергоисточников уже доступны акционерному строительству. При этом резко повысится надежность электроснабжения этих районов и снизятся потери э/э на транспорт.

Подготовка кадров.

Не ведется подготовку кадров с высшим образованием по ВЭР

Обучение монтажников и эксплуатационников в процессе шеф-монтажа ВЭУ на площадке ВЭС.

а) Научные исследования, конструкторские разработки в области ВЭ должны быть предусмотрены в законе «О возобновляемых энергоресурсах».

Развитие инвестиционной привлекательности ВЭ.

Законодательная база для инвестирования:

а) Закон РК от 09.07.04. «Об электроэнергетике».

б) Закон РК № 210-1 от 25.12.97. «Об энергосбережении».

в) Закон РК «Об инвестициях» от 08.01.03. № 373.

г) Закон РК «О поддержке использования возобновляемых энергоресурсов». 2009

д) Постановление Правительства РК «О развитии ветроэнергетики» от 28.08.03. №857

Сочетание ВЭР с другой хозяйственной деятельностью.

а) Водоснабжение регионов, особенно Центрального Казахстана.

б) Ведение сельхоз работ на территории ВЭС. Скотоводство, земледелие.

в) Теплоснабжение поселков с применением электрокотельных.

г) Производство водорода или активированного алюминия.

д) Производство теплоизоляционных материалов на основе минеральной ваты.

Проекты осуществления объектов ВЭР опираются на ряд действующих Законов, указанных в таблице 1.7.

Таблица 1.7- Действующее законодательство Казахстана в области ВЭР.

	Наименование Закона	Год принятия	Норма Закона	Выгода для Проекта
1.	Об электроэнергетике	2004г	1.1. Э/э это товар 1.2. Независимый производитель энергии (НПЭ)	1.1. Наказание за хищение э/э и неуплату за купленную э/э 1.2. НПЭ может продавать э/э любому потребителю.
2.	О поддержке использования возобновляемых энергоресурсов	2009	2.1. Цена на продажу э/э 2.2. Цена доставки э/э по электросетям	2.1. Спец. государственный орган обязан покупать э/э от ВЭС в размере 12 центов США/кВт-ч. 2.2. Производится с нулевым тарифом (бесплатно)
3	Об энергосбережении	11997/ 2011	Снижение выбросов в атмосферу	Продажа квот на выбросы парникового газа
4.	Об иностранных инвестициях	1996	4.1. Преференции для инвесторов	4.1. Налоговые каникулы: 5 лет без налогов, с 6-по 10 года 50% 4.2. Аренда земли дешевле

Выводы

1. В связи с быстрым ростом экономики РК и ростом ВВП на душу населения экономические барьеры по внедрению ВЭР значительно облегчаются.

2. Законодательные факторы, указанные выше в таблице, и меры Правительства по стимулированию ввода ЭС на ВЭР ускоряют использование ВЭР

3. Технические барьеры еще недостаточно устранены, особенно эксплуатационное состояние электросетей низкого напряжения и подстанций, спроектированных и построенных еще в советское время, они слабо загружены в виду предусмотренных в них увеличенных сечений проводов на будущий рост нагрузки. Ряд мощных ветрорегионов не имеют близлежащих ЛЭП, железных и автодорог.

4. Нет заводов по производству крупных ветротурбин, гидротурбин, что вынуждает экспортировать их.

5. Научные разработки касаются только оборудования ВЭР малой мощности (несколько кВт в единице), а требуются тысячи кВт в единице.

5. Необходимо учитывать специфику ВЭР РК и повышать их эффективность.

1.3.3 Повышение эффективности ВЭС

Постановка задачи

Вступления республики во Всемирную Торговую Организацию (ВТО) повлечет повышение стоимости энергоносителей на внутреннем рынке, что в свою очередь приведет к повышению стоимости электроэнергии (э/э). Этому способствуют и имеющие место негативные факторы республиканской энергетической отрасли - необходимость вложения больших инвестиций (до 22 млрд. долл. США до 2015 года) на реабилитацию энергоисточников и энерготранспортных средств, не проводившиеся последнее десятилетие, а также на приведение в соответствие с существующими требованиями законодательных актов Республики по выбросам в атмосферу загрязняющих веществ от ТЭС, на оснащение современными приборами коммерческого учета и системной автоматики организаций, производящих, снабжающих, передающих энергию. В таких условиях вполне вероятен процесс взаимного раскачивания с возрастающей амплитудой цен на топливо, на э/э и на их транспорт.

Повышение стоимости э/э с одной стороны облегчает возможности инвестирования строительства новых энергоисточников малой и средней мощности, особенно использующих для выработки э/э экологически благоприятные ВЭР. Эти ресурсы не подвержены повышению их стоимости и доставки на станцию, и практически являются даровыми. К таковым, в первую очередь, относятся гидро- и ветроэнергоресурсы. Выработка э/э на них будет способствовать стабилизации стоимости электрической и тепловой энергии (т/э) потребителям, и чем выше будет доля таких энергоисточников в энергобалансе страны, тем более ощутимей будет эта стабилизация, особенно при их массовом вводе. Ввод таких энергоисточников вблизи центров потребления также существенно снизит

потери электроэнергии по межрегиональным и региональным сетям. Особенно это актуально для Южной зоны, испытывающей дефицит э/э и Восточной части республики. В них в течение 15 -20 лет можно построить десятки МГЭС мощностью от 2 до 30 МВт в единице с суммарной мощностью 2711 МВт и выработкой 13 млрд. кВтч, а также ВЭС на территории республики с суммарной мощностью до 6000 МВт и выработкой до 18 млрд кВт-ч. Строительство этих объектов доступно малому и среднему бизнесу, а притягательность их заключается в ликвидности э/э, ее импортозамещаемости и экспортонаправленности. Необходимость использования ВЭР отражена в Программе РК по энергосбережению, Стратегии РК 2050.

ВЭР устройства имеют недостаток, заключающийся в том, что выработка энергии от них, существенным образом зависит от гарантированности поступления ВЭР к этим устройствам (водного потока рек на ГЭС, ветра на ВЭС, солнечной энергии на ФЭС и солнечные концентраторы, термальных вод на их утилизаторы). Так, выработка электроэнергии от ГЭС в первую очередь зависит от сезонного характера таяния снегов и годового выпадения осадков, поступающих в реки. Выработка на ВЭС зависит не только от сезонности ветров, но и неравномерности скорости ветров в разрезе суток, выработки на фотопреобразователях зависят от сменности и продолжительности дня и ночи, от степени освещенности в течение дня, зависящих от облачного покрова неба, температуры воздуха.

При использовании ВЭР в промышленных масштабах необходимо сочетание использования ГЭС и ВЭС работающих на единую электросеть, что позволяет выравнять их суммарную выработку э/э в разрезе года. Такое сочетание позволяет более точно планировать объемы выработки электроэнергии этими станциями по графику, задаваемыми покупателями и операторами рынка электроэнергии.

Однако имеются и препятствия для такого использования:

- сочетание ГЭС и ВЭС доступны в республике не везде, поскольку в центральном и западном Казахстане строительство ГЭС нецелесообразно из-за отсутствия экономически доступных гидроэнергоресурсов;

- ГЭС и ВЭС географически могут быть удалены друг от друга, и операторам рынка э/э достаточно тяжело согласовывать их совместную работу.

Отметим, что удельные стоимостные показатели ВЭС и МГЭС разнятся примерно в полтора - два раза, и при новом строительстве, предпочтение может быть отдано строительству ВЭС (их удельные стоимостные показатели существенно ниже). Но МГЭС, при наличии у нее водохранилища суточного или сезонного регулирования, может планировать выработку электроэнергии, производить и продавать 4 вида товара - э/э, регулируемую активную мощность, реактивную мощность требуемого знака, квоты на выбросы парникового газа (ПГ). ВЭС при выработке и продаже э/э подвержена зависимости от суточного режима ветров, поэтому не может регулировать активную мощность, реактивную мощность может только потреблять, и как МГЭС торговать квотами на выбросы ПГ. Поэтому вопросы повышения эффективности ВЭР будем рассматривать применительно к использованию энергии ветров.

При организации производства компонентов ВТ в Казахстане можно использовать достаточно дешевые ВЭУ (в районе 1000 –1200 долл/кВт по себестоимости производства). При этом в виду нулевой стоимости энергоносителя, достаточной дешевизны ВЭУ, наличия ряда уникальных по энергонасыщенности ветрорегионов в Казахстане, стартовая себестоимость произведенной ими энергии, в среднем, будет немногим более 4 цента/кВтч, и она будет понижаться в процессе дальнейшей эксплуатации ВЭС. Единственное, что не будет удовлетворять покупателей э/э – это сезонная и суточная неравномерность выработки э/э от ВЭС.

Расходы на транспорт э/э в ближайшее десятилетие будут постепенно повышаться. Но в соответствии с Законом РК о поддержке ВЭР доставка э/э от их источников осуществляется бесплатно. Стоимость покупной энергии от ВЭС потребителями все же будет находиться на достаточно низком уровне. Для ВЭС необходимо, в первую очередь, подбирать потребителей не критичных к неравномерности таких поставок. Это потребители, работающие в круглосуточном режиме и имеющие энергоаккумуляторы в виде баков – аккумуляторов горячей воды для горячего водоснабжения или отопления, различных технологических процессов, требующих горячую воду в больших объемах. К таким потребителям относятся и различного рода электротехнологичные производства, имеющих руднотермические печи, плавильные печи других материалов (фосфора, базальта, глины и др), технологии по производству водорода. Технологии указанных потребителей не критичны к неравномерности электроснабжения, поскольку они имеют очень большую тепловую инерцию и не выходят из строя при даже кратковременных перерывах электроснабжения. Если эти предприятия будут платить пониженную стоимость за неравномерность поставки э/э, что не составит проблемы для ВЭС с низкой себестоимостью э/э, то такой консенсус может быть осуществлен.

Одной из проблем в обеспечении электроэнергией сельских районов является удаленность от центров генерации электроэнергии. Это приводит к большим затратам как на саму транспортировку, так и к огромным затратам на создание транспортной инфраструктуры и ее эксплуатации. «При передаче и распределении электроэнергии (в Казахстане) имеются большие потери — 21,5 %, а для сельских линий типичным уровнем является 25 - 50% потерь» [1]. Между тем, ведущие зарубежные эксперты признают, что в Казахстане мощность ветров в 2,5 раза выше, чем в Европе, где применение ветровых источников электроэнергии развивается большими темпами. Это было одним из оснований заложенных параметров

в Концепции развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ), принятой в Казахстане в 2013 году - выработке 30 % всей электроэнергии за счет ВИЭ в 2025 году, а в 2050 году 50%.

В долгосрочной перспективе наибольший потенциал из всех видов ВИЭ имеет ветроэнергетика. Например, среднегодовое время работы солнечных электростанций в Казахстане не превышает 1500 часов, ветровые же станции работают около 3000 часов.

На территории 50 тыс. км², что составляет 2% площади Казахстана, среднегодовая скорость ветра превышает 7 м/с. Возможностей только этих территорий достаточно для выработки 1 трлн кВт.ч в год, что примерно в десять раз перекрывает потребности республики в электроэнергии. Суммарный годовой энергетический потенциал ветра в Казахстане оценивается в 1,8 трлн кВт.ч, причем его плотность в ряде мест составляет 10 МВт на 1 км²[2].

Бывшая Карагандинская область самая большая по территории в Казахстане- 427 982 кв км. В связи с такой протяженностью, проблема доставки электроэнергии до сельских поселков является наиболее важной по сравнению с другими областями. Предлагаем рассмотреть пилотный проект, в рамках данного проекта разместить вблизи каждого поселка ветровую турбину (ВТ) мощностью 1 МВт. Такая мощность ВТ позволяет практически полностью обеспечить электроснабжение небольшого поселка. Большая территория охвата ВТ позволит практически полностью нивелировать неравномерность генерации электроэнергии, вызванные затишьем ветров, в каком- то районе. В бывшей Карагандинской области находились 9 районов: Абайский район, Актогайский район, Бухар-Жырауский район, Жанааркинский район, Каркаралинский район, Нуринский район, Осакаровский район, Улытауский район, Шетский район. По данным на 2017 год всего по бывшей Карагандинской области 157

сельских округа, с которые входят 420 поселков и сельских населенных пунктов[3].

Таким образом, предлагается разместить 420 ветровых турбин, мощность каждой 1 МВт, итого общая мощность ветровых турбин будет 420 МВт. Фактически проект заключается в строительстве ВЭС (ветровой электростанции) на 420 МВт. За год предполагается выработка около 1,26 млрд кВт*час электроэнергии. По Закону «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» от 4 июля 2009 года №165-IV в статье 10 п.3. закреплено - «В случае ограничения пропускной способности электрических сетей энергопередающих организаций приоритет должен предоставляться передаче электрической энергии, произведенной энергопроизводящей организацией, использующей возобновляемые источники энергии». Статья 9, п.7. «Энергопередающие организации обязаны обеспечивать свободный доступ к передаче по сетям энергопроизводящим организациям, использующим возобновляемые источники энергии, в соответствии с законодательством Республики Казахстан. При этом энергопроизводящие организации, использующие возобновляемые источники энергии, при поставке электрической энергии освобождаются от оплаты услуг энергопередающих организаций на передачу электрической энергии».

Физически в проекте предполагается потребление вырабатываемой электроэнергии каждым поселком, но энергопередающая организация за счет возмещения этих объемов на месте генерации электроэнергии будет отдавать эти объемы нашему ТОО на границе с Россией. Рассмотрим самый негативный вариант продажи по 4,9 центов. Выработка электроэнергии 1,26 млрд кВт*час и продажа по 4,9 цента дает доход в размере 61,74 миллионов долларов США. Будем считать среднюю стоимость ВТ с затратами на строительство 1,5 миллионов долларов США, т.е. на строительство 420 ВТ потребуются инвестиции в размере 630 миллионов долларов США. Таким

образом, окупаемость инвестиционных вложений около 10 лет. Можно рассмотреть продажу э/энергии самим селам, тогда необходимо согласовать цену продажи на уровне не ниже 4,9 центов.

Кроме того, несомненным преимуществом данного проекта является экономия на потерях неизбежных при транспортировке электроэнергии в сельские населенные пункты. Как отмечалось выше, физически вся вырабатываемая электроэнергия, – 1,26 млрд кВт*час будет потребляться на месте ее генерации – поселком, где будет располагаться ветровая турбина. Сейчас при доставке этого объема теряется от 25% до 50%, с учетом огромной территории области возьмем величину 35%, это составит 440 миллионов кВт*часов. Таким образом, данный проект позволяет ежегодно экономить 440 миллионов кВт*часов, если учесть, что область производит около 14 миллиардов кВт*часов, то в рамках области это означает экономию более 3% произведенной энергии.

При наличии проекта по строительству ВЭС мощностью более 400 МВт становится рентабельным строительство собственного завода по производству ВТ. Стоимость такого завода будет порядка 100-150 миллионов долларов США.

В этом случае можно будет говорить о необходимости создания в Казахстане новой отрасли промышленности, направленной на удовлетворение прежде всего собственных потребностей страны.

2. НОВЫЙ МЕТОД СИНТЕЗА ПОРОШКОВОГО ГРАФЕНА

2.1 Рынок графена и графеноподобных материалов

Если на первых этапах развития исследований графена интерес к ним подогревался перспективами его применения, то в настоящее время уже сложился полноценный рынок графена и графеноподобных материалов.

В таблице 2.1 взятого из обзора Графенового совета (The Graphene Council) приведены объемы мирового производства различных материалов, применение в которых графена и графеновых материалов показало значительное улучшение потребительских качеств.

Важно, что промышленные технологии получения графена в настоящее время достаточно хорошо развиты и позволяют получать большие листы этого материала, вплоть до метрового диаметра. Но проблемой, сдерживающей развитие отрасли, остается высокая себестоимость. Усилия исследователей сосредоточены на поиске способов более дешевого получения больших объемов графена. Основные производства графена сконцентрированы сейчас в странах Европы и в США. Также на рынке присутствует большое число компаний малого и среднего бизнеса из стран Юго-Восточной Азии.

По состоянию на 2022 год суммарный объем мирового рынка графена в денежном выражении оценивается в \$865 млн. Рынок растет исключительно высокими темпами, в среднем на 19,4% в год. На 2025 год составит оценочно 1,5 миллиарда долларов.

Также на рисунке 2.1.приведено распределение объемов продаж различных видов графеноподобных материалов в процентном отношении (Данные Графенового совета (The Graphene Council). По ним видно, что многослойный и малослойный графен (суммарно- Multi-layer Graphene (MLG) 5-10 carbon layers, Few Layer Graphene (FL) 2-5 carbon layers, Very Few Layer Graphene (VFL) 1-3 carbon layers и Graphene Nanoplatelets (11 or

more carbon layers)) является наиболее востребованной формой графеноподобных материалов. Именно такой тип графена мы и ставили целью получения в наших исследованиях.

Таблица 2.1- Оценка потребности в графене и графеновых материалах в материалах, потребительские качества существенно улучшаются при использовании композитов на основе графена и графеновых материалов. На основе обзора Графенового совета (The Graphene Council)

Мировое производство продуктов качество которых улучшает графен	Годовой объем продуктов качество которых улучшает графен, т	Мировая потребность в графене, тонн (TAM)		1% от объема рынка составит, тонн (SAM)	
		При добавке графена 0,1% весовой	При добавке графена 5% весовой	При добавке графена 0,1% весовой	При добавке графена 5% весовой
Цемент	4 100 000 000	4 100 000	205 000 000	41 000	2 050 000
Смазки и масла	1 600 000 000	1 600 000	80 000 000	16 000	800 000
Все полимеры	380 000 000	380 000	19 000 000	3 800	190 000
PET	87 000 000	87 000	4 350 000	870	43 500
PP	76 000 000	76 000	3 800 000	760	38 000
PE	72 500 000	72 500	3 625 000	725	36 250
Покрытия	46 600 000	46 600	2 330 000	466	23 300
PVC	27 500 000	27 500	1 375 000	275	13 750

Резина	27 000 000	27 000	1 350 000	270	13 500
PS	18 750 000	18 750	937 500	188	9 375
PUR	17 500 000	17 500	875 000	175	8 750
РА	6 500 000	6 500	325 000	65	3 250
Итого	6 459 350 000	6 459 350	322 967 500	64 594	3 229 675

Количество функционализированных форм и форм оксида графена значительно возросло за последние годы.

В настоящее время многослойный и малослойный графен остается наиболее преобладающей формой графена по объему производств и продаж.

Типы графена-производство/потребление.
По данным Графенового совета (The Graphene Council)

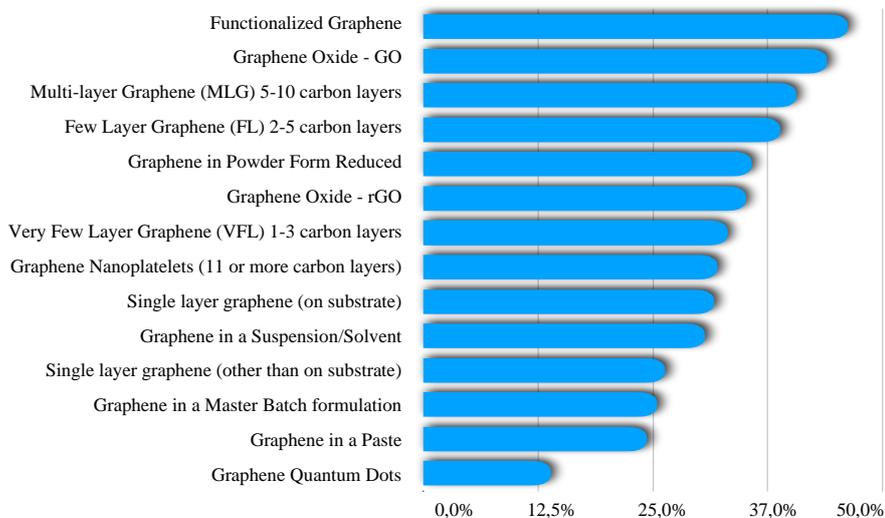


Рисунок 2.1- Объемы продаж различных видов графеноподобных материалов

Интересно было бы оценить каков рынок порошкового графена, исследования синтеза которого стало объектом данной работы.

Оценка показателя рынка TAM-SAM-SOM сделана на основе анализа данных таблицы 2.1 в весовых показателях: TAM-6 459 350 тонн, SAM- 64 594 тонны и SOM-645 тонн. При этом: TAM (Total Addressable Market) — общий объём целевого рынка; SAM (Serviceable Addressable Market) — доступный объём рынка; SOM (Serviceable & Obtainable Market) — реально достижимый объём рынка.

На основе графика «Типы графена-производство/потребление» приведенного выше можно оценить долю нашего продукта- многослойного графена. Оценка дает величину около 40% от продаж всех видов графеновых материалов. Исходя из этого можно сделать корректировку, и оценка показателей рынка будет выглядеть согласно рисунку 2.2:

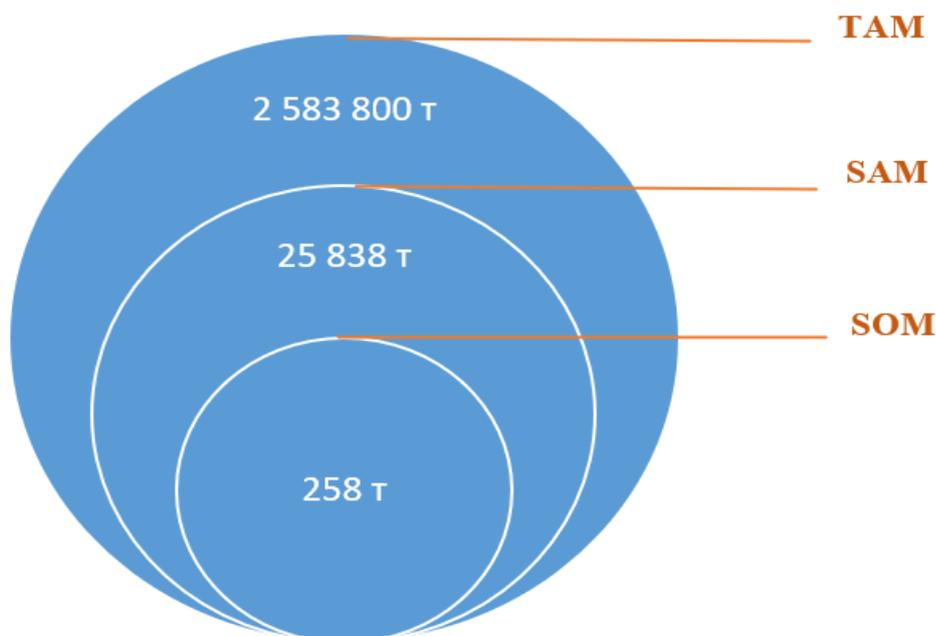


Рисунок 2.2- Оценка показателей рынка

2.2 Графит особенности интеркаляции

Графит имеет слоистую структуру, расстояние между слоями углерода около $3,35\text{\AA}$ ($0,34\text{нм}$) (Рис. 2.3), внутри слоя атомы углерода связаны за счет sp^2 гибридованных σ - связей с тремя соседними атомами углерода. Эти ковалентные связи с энергией около 256 кДж/моль ($2,65\text{эВ}$ на атом) значительно превышают энергию связи между слоями углерода, которые связаны за счет слабого Ван-дер-Ваальсового взаимодействия, имеющего величину 16кДж/моль ($0,17\text{эВ}$ на атом). Делокализованные π – связи, возникающие при sp^2 гибридизации объясняют высокую проводимость графита в плоскости слоев.

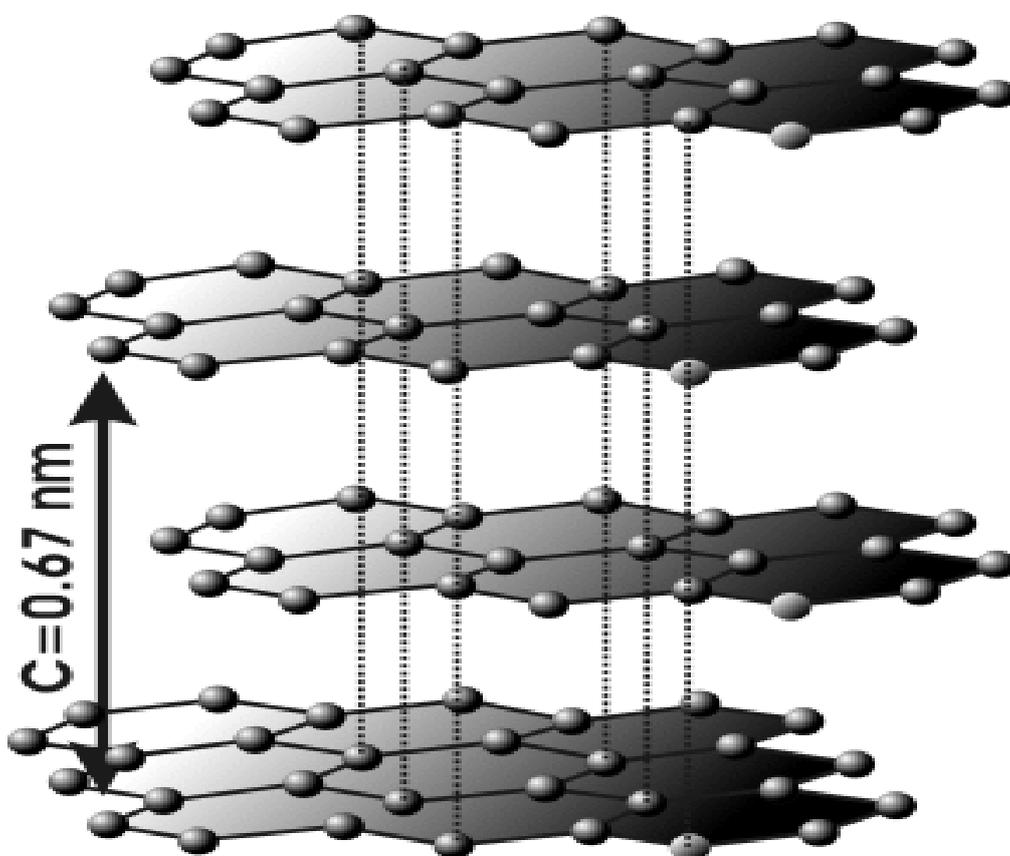


Рисунок 2.3- Кристаллическая решетка графита.

Графен — химически инертный материал. Он представляет собой бесконечную сетку атомов углерода, соединенных между собой σ -связями образованных p_x и p_y орбиталями соседних атомов. p_z орбитали образуют единую для слоя π - систему. Собственно, графит представляет из себя графеновые слои, ориентированные определенным образом.

В обычном графите соседние слои расположены так, что атом углерода верхнего слоя расположен над центром ячейки нижнего слоя и над атомом углерода последующего слоя (АВ-тип укладки слоёв). Таким образом, расстояние между одинаково расположенными, абсолютно идентичными слоями равно $6,7 \text{ \AA}$ (0,67 нм), что видно на рисунке 2.3. Однако чередование слоёв может нарушаться, в этом случае графит называют турбостратным.

Слабые межслойные взаимодействия дают возможность интеркалировать определенные атомы, молекулы, ионы в межслойное пространство. Размещение посторонних атомов и молекул приводит к увеличению расстояния между слоями. В результате становится возможным дальнейшее расслоение графитовых слоев углерода при механическом, термическом, и других воздействиях на интеркалированный графит. Так, интеркаляцию графита проводят, например серной кислотой в присутствии окислителя [16], трифторидом хлора [17]. На рисунке 2.4 приведен снимок электронного микроскопа торца интеркалированного графита [16], на котором хорошо видны разрывы кристаллитов графита в базальной плоскости. На рисунке 2.5 показаны эти же разрывы в увеличении.

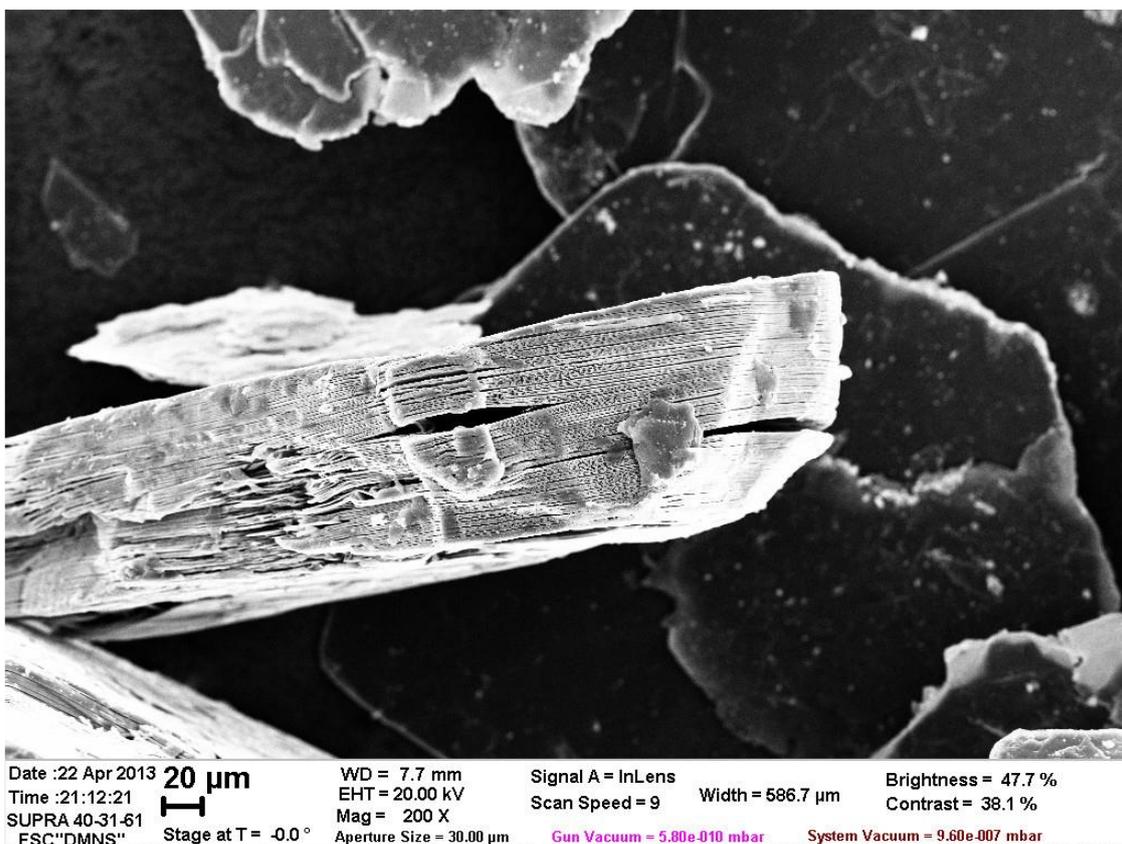


Рисунок 2.4- Интеркалированный графит Graft EG-35 (КНР) (торец) [16].

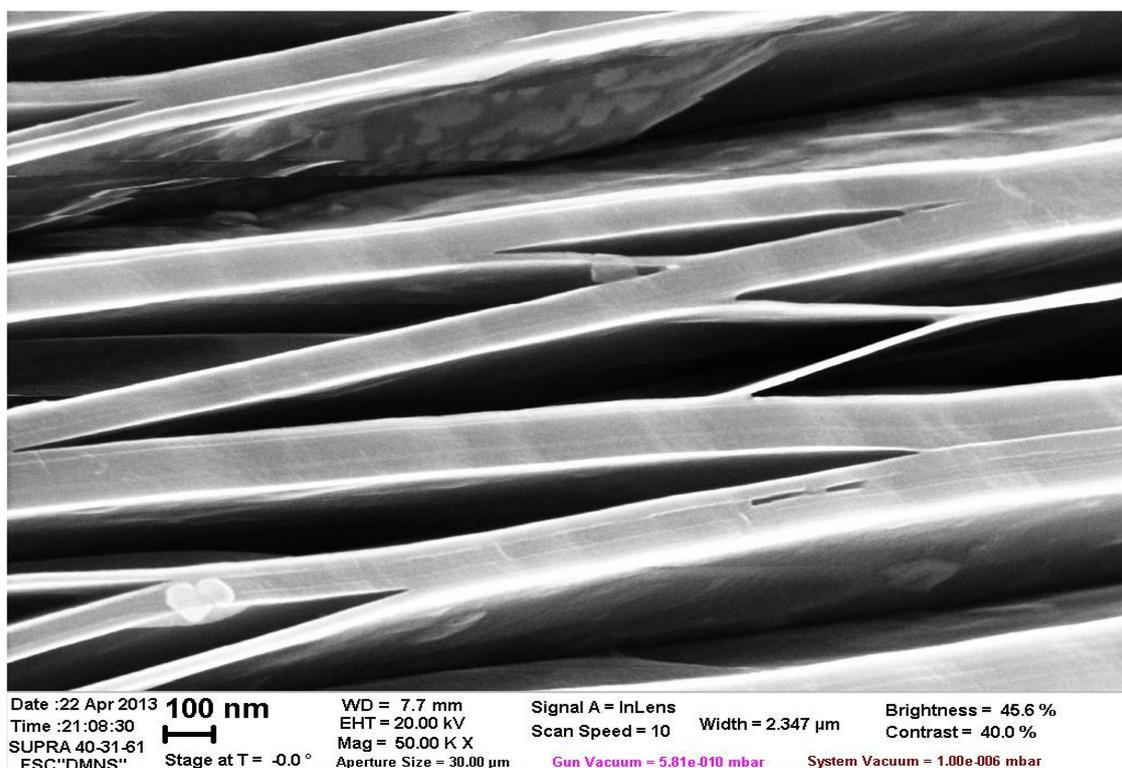


Рисунок 2.5- Разрывы кристаллитов графита в увеличенном виде [16].

Для адсорбции сторонних атомов на поверхность графита его π -система должна быть или сильно искажена, или вообще разрушена. Слабость молекулярной связи π -орбиталей, их «рыхлость» способствуют адсорбции как «богатых» электронами атомов например, щелочных металлов, так и интеркалантов с сильно выраженными акцепторными свойствами, например молекул кислот, фторидами, хлоридами и бромидами металлов и галогенами.

В настоящее время имеется понимание того, как частицы интеркалируются в графит [18-20]. Процесс интеркаляции происходит в определенной последовательности. Сначала происходит адсорбция интеркалированных частиц на внешней плоскости графита, что сопровождается переносом заряда от плоскости углерода к адсорбированной частице. В результате вблизи интеркалированных частиц на слое графита образуется локальный избыточный заряд [18]. Зависимость энергии от плотности заряда графитовых π -орбиталей вблизи уровня Ферми носит линейный характер, из-за чего экранирование графита отличается от металлического и локальный избыточный заряд «переносится» на соседние плоскости. Установлено, что локальная избыточная плотность заряда ρ на графитовых слоях зависит от расстояния z от интеркалированного слоя $\rho \sim (1+z/C_0)^{-4}$, где C_0 - расстояние между соседними слоями графена [20]. Таким образом, вблизи соседних слоев графита появляются локальные заряды одного знака, что приводит к их отталкиванию за счет кулоновского взаимодействия [19-20]. Первыми открываются для интеркаляции слои, прилегающие к внешней поверхности; их заполнение приводит к раскрытию соседних слоев и заполнению их интеркалянтами. Те. интеркаляция — это поэтапный процесс, который происходит по нормали к базовой плоскости графита.

Акцепторные соединения образуют интеркаланты в которых углеродные сетки получают положительный заряд и представляют собой

макрокатионы $+ C_n$, где n - количество атомов углерода, у которых появляется локальный положительный заряд. К этой группе относятся соединения с кислотами (серной, азотной и др. [16]), с фторидами, хлоридами и бромиды металлов (фториды сурьмы и мышьяка, хлориды и бромиды алюминия и др.) и соединений с галогенами [17].

Донорные соединения, где интеркалант выступает донором электронов, а графитовые слои являются макроанионами $- C_n$. К этой группе относятся соединения с щелочными и щелочноземельными металлами. Можно выделить группу соединений графита, интеркалированных переходными металлами. В этих соединениях атомы переходных металлов образуют π -комплексы с углеродной сеткой графита. В таких комплексах π - электроны углеродных слоев взаимодействуют с d -орбиталями атомов переходных металлов [18]. Состав таких соединений можно передать формулами типа CM_n , где n - число углеродных атомов, приходящихся на одну молекулу M интеркаланта. Структуру интеркалированных соединений характеризуют стадией внедрения - числом углеродных слоев, находящихся между слоями внедренного интеркаланта.

То, что углеродные слои в графите связаны за счёт Ван-дер-Ваальсового взаимодействия является общепризнанным мнением. Однако есть и работы [21], где считают, что связь осуществляется за счет π -орбиталей соседних слоев графита, т.е. за счёт слабой ковалентной связи. Если бы такой механизм действительно осуществлялся, это объясняло бы почему у соседнего слоя появляется локальное изменение заряда одинакового по знаку с верхним слоем, которому интеркалант передал какой-то заряд.

2.3 Микрочластерная вода

В работе [22] сделали квантовые расчеты энергии взаимодействия молекулы воды с графеновой плоскостью при различных ориентациях молекул (Рис. 2.6). Видно, что минимумы потенциальной энергии находятся на расстояниях от $2,25\text{\AA}$ (когда один из атомов водорода направлен в сторону графенового слоя) до $3,15\text{\AA}$ (во всех остальных ориентациях молекулы воды), величина минимума энергии лежит в диапазоне от $0,086\text{эВ}$ до $0,14\text{эВ}$. Таким образом, при приближении молекулы воды на такие расстояния возникает вероятность их адсорбции на графеновую поверхность. По данным квантовых расчетов [23] для кластеров из 6 молекул возможна адсорбция на поверхность графита, причем энергия связи в случае кластера из 6 молекул достигает $0,59\text{эВ}$.

По геометрическим соображениям молекула воды могла бы проникать между слоями графита (расстояние между слоями $\sim 3,44\text{\AA}$, а диаметр атома кислорода $\sim 0,48\text{\AA}$) и расстояние от центра молекулы воды до углеродного слоя было бы $1,68\text{\AA}$. Однако из Рис.2.6 видно, что при таком расстоянии между молекулой воды и углеродным слоем было бы отталкивание с энергией $\sim 0,08\text{эВ}$. Надо иметь ввиду, что все расчеты делались в пренебрежении краевыми эффектами, поэтому её величина не отражает величину энергетического барьера, необходимого для внедрения молекулы воды в межслоевые пространства графита. Но из этих данных можно ожидать наличие такого энергетического барьера для интеркаляции как одиночной молекулы воды, так и кластеров например, из 6 молекул.

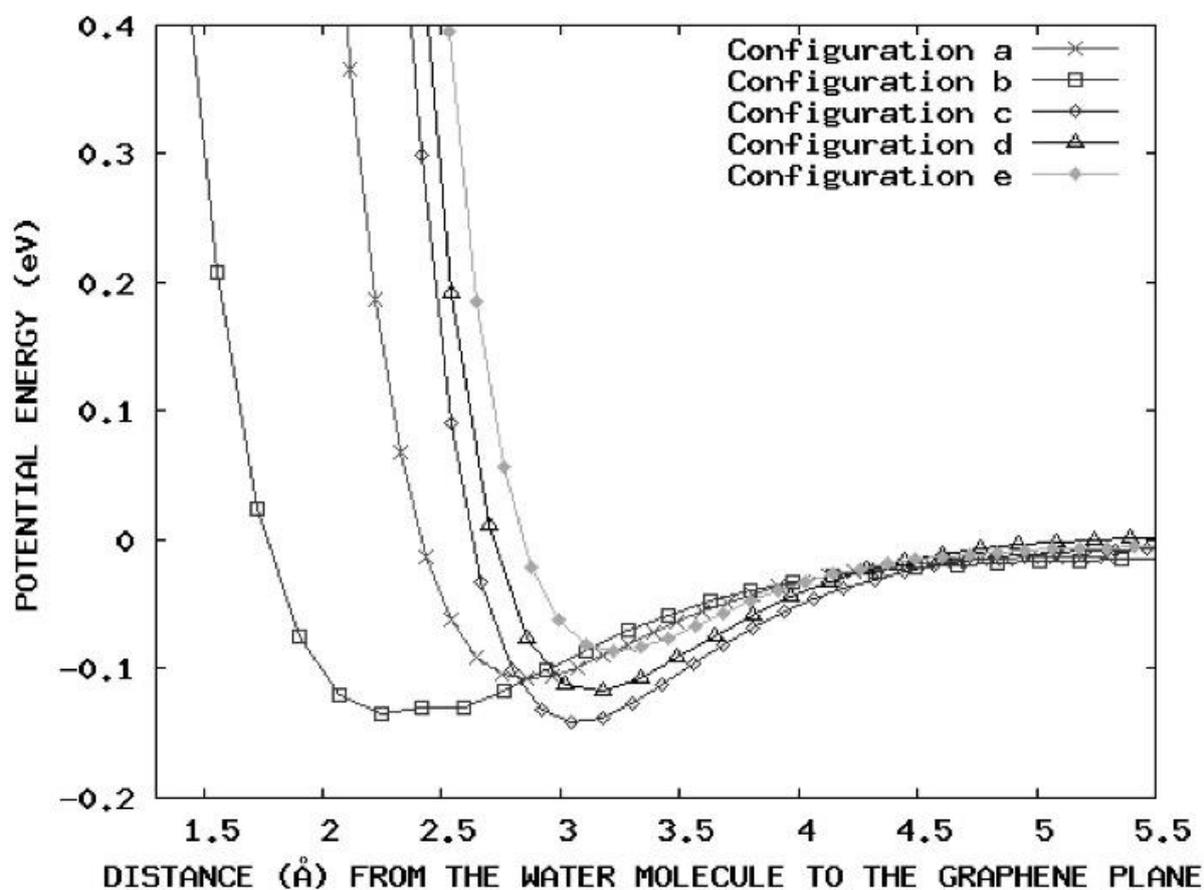


Рисунок 2.6- Полная потенциальная энергия (эВ) молекулы воды над графеновым слоем для пяти конфигураций, расположения молекулы H₂O над плоскостью графена. Расстояние (Å) измеряется от молекулы воды до графенового слоя [22].

В работе [23] рассчитано равновесное расстояние от кластера из 6 молекул до графитового слоя, оно оказалось равно 3,01 Å. Это означает, что если бы применив стороннее воздействие удалось бы интеркалировать этот кластер, расстояние между слоями графита должны увеличиться от 3,44 Å до 6 Å.

2.3.1 Особенности кластеризации воды

Одной из особенностей молекулы воды является слабые связи, обусловленные электростатическими силами и донорно - акцепторными взаимодействиями между соседними атомами водорода и кислорода. Эти особенности химического строения молекулы воды делают возможными образование направленных межмолекулярных водородных связей через цепочку О-Н-О-О с соседними молекулами воды. Такие образования, пространственные ассоциаты, можно выразить общей формулой $(H_2O)_n$.

Молекулы воды в жидком состоянии в нормальных условиях подвижны и способны совершать различные колебательные движения, также вращения вокруг своей оси и хаотические и направленные перемещения, за счет чего отдельные молекулы могут «перескакивать» из одного места в другое в объеме воды за счет кооперативных взаимодействий. В результате в водных растворах возможен отрыв протона H^+ от одной молекулы воды и последующим перемещением с дальнейшим присоединением H^+ к соседней молекуле воды с образованием ионов гидроксония состава: H_3O^+ , H_5O^{2+} , H_7O^{3+} и т.п. Таким образом, вода должна рассматриваться как некая ассоциированная жидкость состоящая не из отдельных молекул H_2O , а кластеров, соединённых водородными связями и слабыми межмолекулярными ван-дер-ваальсовыми силами [24]. Если сравнить воду, считая ее гидридом кислорода- H_2O с ее аналогами по 6 группе Периодической системе Менделеева гидридами серы, селена и теллура: H_2S , H_2Se , H_2Te , рассматривая их как мономолекулярные соединения, то в жидком состоянии вода существовала бы в диапазоне температур от -90°C до -70°C . Однако, у воды из-за наличия водородных связей между молекулами воды этот диапазон совсем другой. При рассмотрении воды как простой совокупности одиночных молекул H_2O её плотность должна быть $1,84\text{г/см}^3$, а температура кипения $63,5^\circ\text{C}$. Как

известно при нормальных условиях эти параметры составляют 1 г/см^3 и 100°C , соответственно.

Распределение молекул в малой окрестности молекулы воды имеет определенную упорядоченность, немного напоминающую кристаллическую, хотя и более размытую. По этой причине структура жидкости можно назвать квазикристаллической, кристаллоподобной, или кластерной, т. е. обладающей небольшой симметрией и наличием слабой упорядоченности во взаимном расположении атомов или молекул.

Изучение строения таких кластеров, из которых фактически состоит вода затруднено, поскольку вода это смесь нейтральных кластеров $(\text{H}_2\text{O})_n$, и сочетания положительно и отрицательно заряженных ионов $[(\text{H}_2\text{O})_n]\text{H}^+$ и $[(\text{H}_2\text{O})_n]\text{OH}^-$, находящихся в динамическом равновесии между собой со временем релаксации 10^{-12} сек. Сталкиваясь друг с другом, кластеры могут переходить один в другой, разрушаться и образовываться снова [24]. Как показали эксперименты в дистиллированной воде кластеры практически электрически нейтральны [24]. Процессами кластеризации можно управлять с помощью внешних факторов (давление, температура и прочее).

Так, авторы работ [25,26] методами ИК, фемтосекундной лазерной спектроскопии и масс-спектрометрии показали, что наиболее устойчивые кластерные ионы вида $(\text{H}_2\text{O})_{20}\text{H}_3\text{O}^+$ или $(\text{H}_2\text{O})_{21}\text{H}^+$, которые образуются из 20 молекул H_2O и протона в составе иона гидроксония H_3O^+ .

Американские ученые [27-29] найдя удачное сочетание воздействия температурных, механических и магнитных воздействий получили устойчивые кластеры из шести молекул H_2O . Причем молекулы создают плоский кластер гексагональной формы, назовем его «микрочластер». По их данным получаемые при их методе «микрочластеры» имеют заряд. Хотя, видимо всё же более верным было бы говорить о дипольном моменте «микрочластеров». В работе [30] экспериментальным способом показано, что кластеры воды, содержащие от 3 до 18 молекул, обладают большим

дипольным моментом, создавая вокруг электрическое поле. Нами была использована такая вода, и наш эксперимент заключается в попытке разделения слоев графена в графите с использованием такой, будем ее так в дальнейшем называть «микрокластерной» воды (сокращенно МКВ).

«Микрокластерность» воды её авторы определяют по спектру ЯМР на изотопе кислорода ^{17}O записывается спектр ЯМР воды, в котором микрокластеры дают сигнал ЯМР ^{17}O шириной менее 115 Гц, в основном 25- 70 Гц. Эталонная вода МКВ, согласно патентам [28-29] дает полуширину 60-70 Гц. По амплитуде и ширине сигнала ЯМР с помощью компьютерной программы оценивается содержание микрокластеров в воде. Авторы патента [31] провели анализ зависимости полуширины сигнала ЯМР от размера кластеров в воде, в таблице 2.1 приведены их данные.

Таблица 2.1-Зависимость параметров сигнала ЯМР от количества молекул воды в кластерах.

Количество молекул воды в кластере	Полуширина линии ЯМР ^{17}O , Гц	Амплитуда сигнала ЯМР ^{17}O , Гц
5	35	100
7	70	95
15	160	80
70	600	35
500	2 000	5,5

На рисунке 2.7 показаны спектры ЯМР изотопа ^{17}O использованной нами ДВ и МКВ. Полученный сигнал для МКВ имел ширину 15 Гц, что говорит о том, что в ней большое количество «микрокластеров» с количеством молекул воды не больше 5.

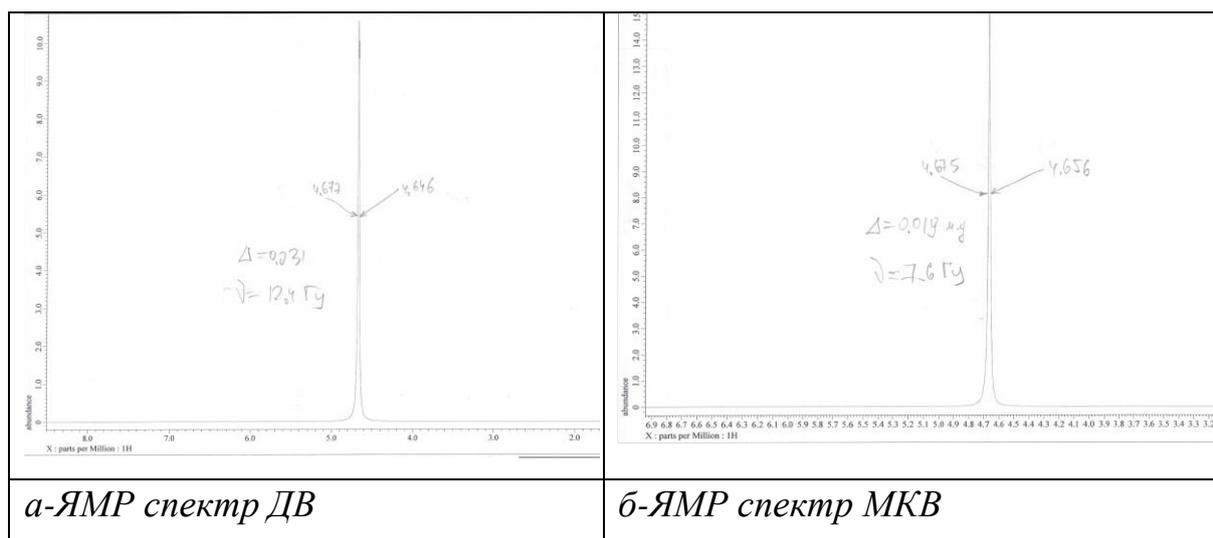


Рисунок 2.7- ЯМР спектры ДВ и МКВ

В работе [32] нами было предложено использовать МКВ для эксфолиации графита с применением центробежного поля. В данной работе проведены эксперименты с применением центрифуги. Как будет показано при 4000 оборотах в минуту происходит интеркаляция «микрокластеров» и расщепление части слоев графита с образованием графеновых наноструктур.

3 ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Интеркаляция МКВ в графит в центробежном поле

Задача состояла во внедрении МКВ в межслойное пространство графита, имея целью последующее их расслоение и получение графена. Для решения данной задачи было использовано центробежное поле, создаваемое при вращении образцов с графитом в МКВ в центрифуге.

Эксперимент состоял в центрифугировании образцов при частоте 4000 оборотов в минуту. В оба сосуда засыпался порошок графита (природный графит марки ГЛ-1) (далее будем называть его ПГ) массой 6 г, в один сосуд заливалась МКВ, во второй сосуд – дистиллированная. Уровень в обоих сосудах был одинаковый. На рисунке 3.1 показаны два сосуда после небольшой встряски, видно, что наблюдается незначительное снижение уровня воды в сосуде с МКВ. В левом сосуде находится МКВ, в правом - дистиллированная.



Рисунок 3.1- Сосуды с графитом до центрифуги. Слева находится МКВ, справа- дистиллированная.

Как было отмечено в Главе 2 наиболее стабильные кластеры в воде состоят из 20 молекул воды. В отличие от обычной воды в МКВ появляются стабильные «микрочластеры» из 6 молекул, которые по своим геометрическим размерам могут проникать в межслойное пространство графита (интеркалироваться). Посчитаем количество «микрочластеров» способных вследствие теплового движения преодолеть энергию связи между слоями графита (0,17 эВ).

Используем для анализа Максвелловское распределение энергии атомов:

$$f = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} x^{1/2} e^{-x/(kT)} \quad (3-1)$$

Тогда количество микрочластеров, имеющих энергию выше энергии Ван-дер-Ваальсовской связи слоев графена $\varepsilon = 0,17$ эВ будет определяться интегралом

$$n = \frac{2N}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \int_{\varepsilon}^{\infty} x^{1/2} e^{-x/(kT)} dx \quad (3-2)$$

Для вычисления определенного интеграла (3-2) воспользуемся методом Монте-Карло. Расчеты с использованием набора 500 000 случайных чисел показывают, что только около 0,2% микрочластеров имеют энергию превышающую энергию Ван-дер-Ваальсовского взаимодействия.

Если еще учесть, что часть «микрочластеров» сможет адсорбироваться на поверхность графита, то становится понятным небольшое уменьшение уровня МКВ при встряхивании (рис. 3.1).

После центрифугирования в течение 60 минут происходит уменьшение уровня МКВ. На рисунке 3.2 показаны сосуды после центрифугирования. Видно, что уровень МКВ уменьшился существенно, до 12мм.

Согласно данным [18-20] процесс интеркаляции происходит в определенной последовательности. Вначале происходит адсорбция интеркалируемых частиц на внешнюю плоскость графита, которая сопровождается переносом заряда от углеродной плоскости к адсорбированной частице. Первыми открываются для интеркаляции слои, прилегающие к внешней поверхности, их заполнение приводит к открыванию соседних слоев и заполнению их интеркалянтами. Т.е. интеркаляция стадийный процесс, который происходит по нормали к базовой плоскости графита. Как было сказано выше, действительно результаты квантовомеханических расчётов [18] указывают на то, что на поверхности графита происходит адсорбция «микрочластеров» на поверхность графита. В этой же работе квантовомеханические расчёты показывают, что происходит перенос электрона от слоя углеродов к «микрочластеру». Таким образом, видно, что есть все необходимые условия для стадийного процесса интеркаляции МКВ в межслойное пространство графита, центрифугирование этот процесс интеркаляции ускоряет.

Можно оценить, насколько уменьшается объем, занимаемый молекулой воды в воде и в межслойном пространстве графита. Один моль воды весит 18г, принимая плотность воды $1\text{г}/\text{см}^3$, один моль воды имеет объём $V=18\text{см}^3=18\cdot 10^{24}\text{Å}^3$. Один моль вещества содержит $N_a=6\cdot 10^{23}$ молекул вещества. Таким образом на одну молекулу воды при нормальных условиях приходится объём $V_1=V/N_a=30\text{Å}^3$. Шесть молекул, соответственно занимают объём 180Å^3 . Как было сказано в разделе 2.3, по результатам квантовомеханических расчётов [11] можно оценить, что при интеркаляции «микрочластеров» расстояние между слоями углерода увеличивается от $3,4\text{Å}$ до 6Å . Расстояние между атомами кислорода в «микрочластере» в виде правильного шестиугольника из шести молекул равно $2,8\text{Å}$ [11], тогда площадь такого «микрочластера» равна $20,16\text{Å}^2$. Тогда объём, который

занимает «микрокластер» интеркалированный в графит равна $V_2=20,16\text{\AA}^2\times 6\text{\AA}=120\text{\AA}^3$.

Таким образом оценка показывает, что при интеркаляции МКВ в графит объем занимаемый «микрокластерами» уменьшается с 180\AA^3 до 120\AA^3 , т.е. почти на 33%. Отмеченное в эксперименте уменьшение уровня МКВ в сосуде с графитом по сравнению с ДВ в сосуде с графитом при вращении сосуда в центрифуге на 12мм, при начальном уровне 60мм соответствует уменьшению воды на 20%, что по порядку коррелирует с оценкой 33% (Рис. 3.2).



Рисунок 3.2-Сосуды с графитом после центрифугирования 4000 об/мин, 60 минут. Слева с МКВ, справа дистиллированная.

3.1 Рамановская спектроскопия полученных образцов

Спектроскопия комбинационного рассеяния (КРС), или рамановская спектроскопия наиболее чувствительна к высокосимметричным ковалентным связям с маленьким или отсутствующим дипольным моментом. Углерод-углеродные связи полностью соответствуют этому критерию, поэтому спектроскопия КР способна обнаруживать мельчайшие изменения в структуре материала, что делает ее чрезвычайно ценным методом исследования. Есть определенные черты, которые роднят все разнообразные углеродные наноструктуры. Они построены исключительно из атомов углерода и могут считаться аллотропными модификациями. В их число входят не только широко распространенные алмаз и графит, но и фуллерены, графен и более сложные структуры, такие как нанотрубки. Все эти материалы образованы исключительно связями углерод-углерод, пространственная ориентация этих связей различна в разных материалах, поэтому для контроля необходим метод, чувствительный к небольшим изменениям ориентации неполярных связей. Спектроскопия КРС прекрасно подходит для исследования строения углеродных материалов. Каждая полоса в спектре соответствует определенному колебанию молекулы, причем ее частота чрезвычайно чувствительна к пространственной ориентации связей и массе атомов. При сравнении спектров различных аллотропных модификаций углерода также видна существенная разница в спектрах КРС. Так, если наиболее интенсивная полоса в спектре КРС у алмаза – 1332 см^{-1} , то в спектре графита она смещена к 1582 см^{-1} (Рисунок 3.3). Полоса КРС графита 1582 см^{-1} обычно называется полосой G (от Graphite); полоса алмаза – полосой D (от Diamond). Полоса G смещена, поскольку она относится к углероду в состоянии sp^2 , имеющему более высокую энергию, чем sp^3 -состояние в структуре алмаза. Дополнительные полосы в спектре графита указывают на наличие в его структуре различных

углерод-углеродных связей. В графите также присутствует пик 2D который является обертоном пика D и расположен при 2740 см^{-1} .

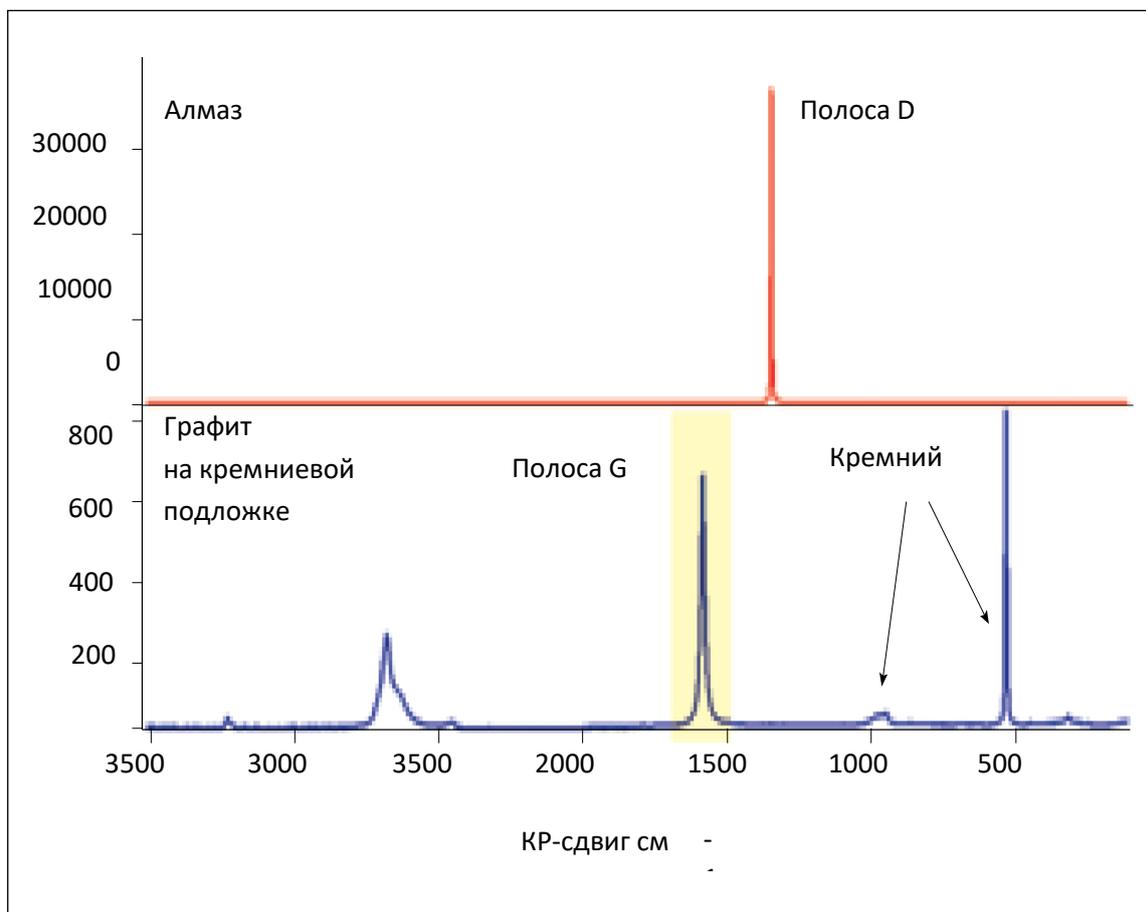


Рисунок 3.3-Спектры КРС алмаза и графита на наличие углерода в sp^2 -состоянии, обусловленном поверхностными дефектами.

Графен можно назвать "строительным элементом" многих других углеродных материалов, включая графит. Графит, по сути, это стопка плоских листов графена с sp^2 -гибридизацией. На первый взгляд, спектры КР графита и графена весьма похожи, что неудивительно, учитывая особенности этих структур. Однако в них имеются и существенные различия (Рисунок 3.4).

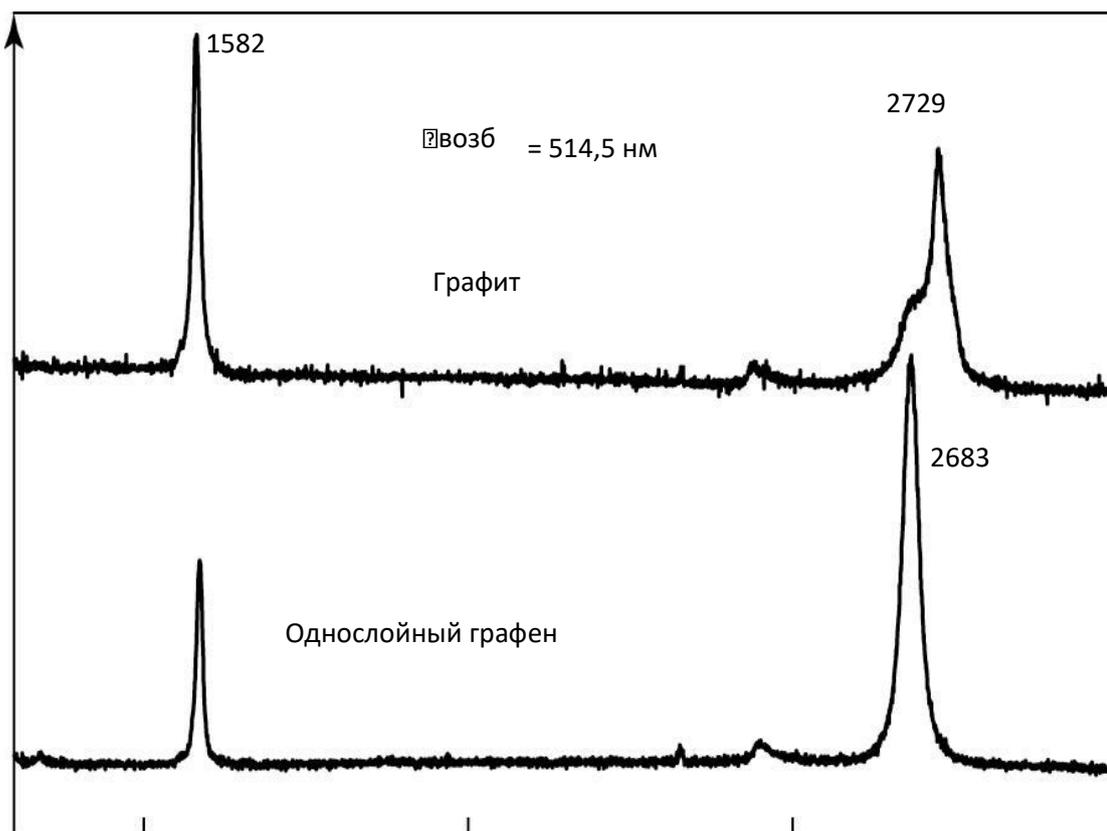


Рисунок 3.4-Спектры КРС графита и графена.

Наиболее очевидно отличие в интенсивности 2D-полосой $\sim 2700 \text{ см}^{-1}$, которая в графене превышает по интенсивности полосу G, а в графите это соотношение меняется на обратное. Более подробно различие в форме и положении 2D-полосы показано на рисунке 3.5.

Сдвиг полосы по частоте в графите – это результат взаимодействия между слоями, которое повышает частоту колебания.

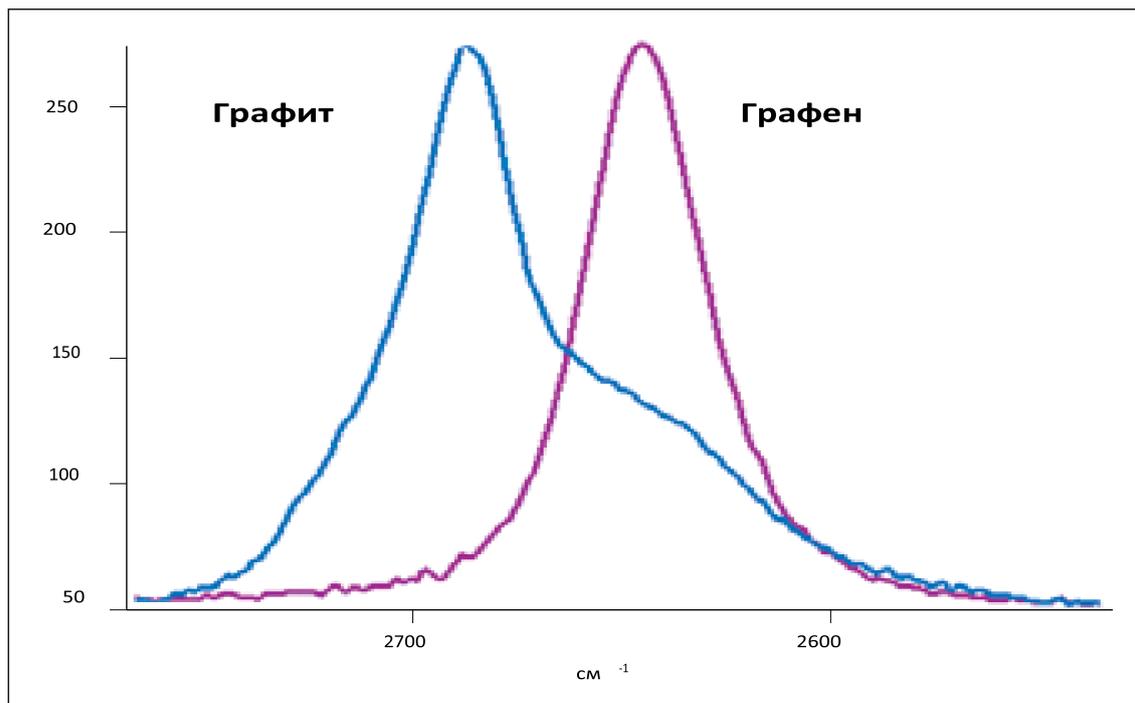


Рисунок 3.5-Сравнение полосы 2D графена и графита

На рисунке 3.6 приведен спектр комбинационного рассеяния света (КРС), полученного от наших образцов после центрифугирования графита в МКВ. На рисунке 3.7 приведен нормализованный спектр КРС. Спектры снимались на приборе Solver Spectrum (NT-MDT). Видно, что пик 2D сместился из области 2740 см^{-1} (для графита) в область 2727 см^{-1} . В работе [33] говорится, что подобное смещение пика свидетельствует об образовании графеновых наноструктур. На рисунке 3.6 приведен спектр КРС исходного ПГ, а на рисунке 3.7 – нормированный спектр КРС исходного графита ПГ. Видно, что Пик 2D расположен при 2741 см^{-1} , полуширина пика 46 см^{-1} , отношение пиков 2D/G равно 0,31. Видна структура пика 2D- слева от пика видно плечо.

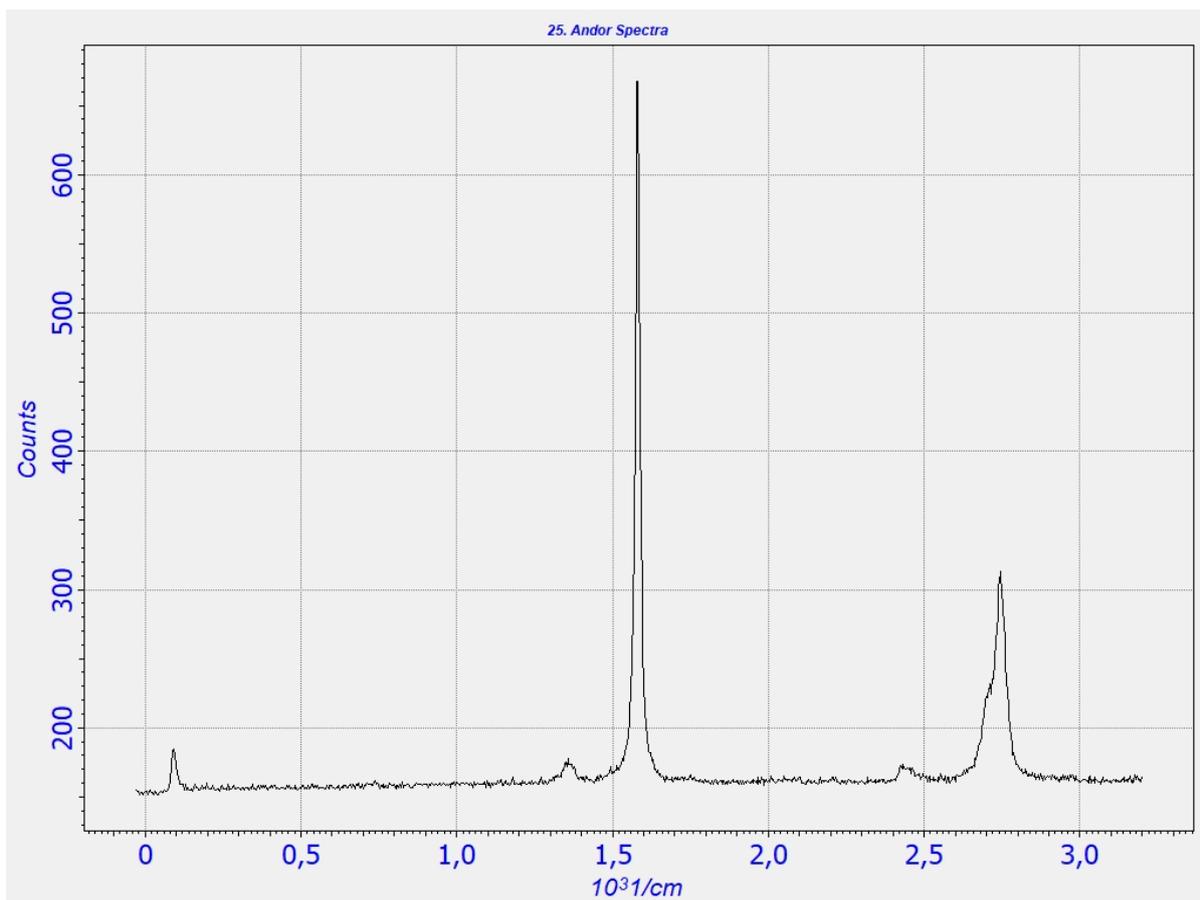


Рисунок 3.6-Спектр КРС исходного графита ПГ.

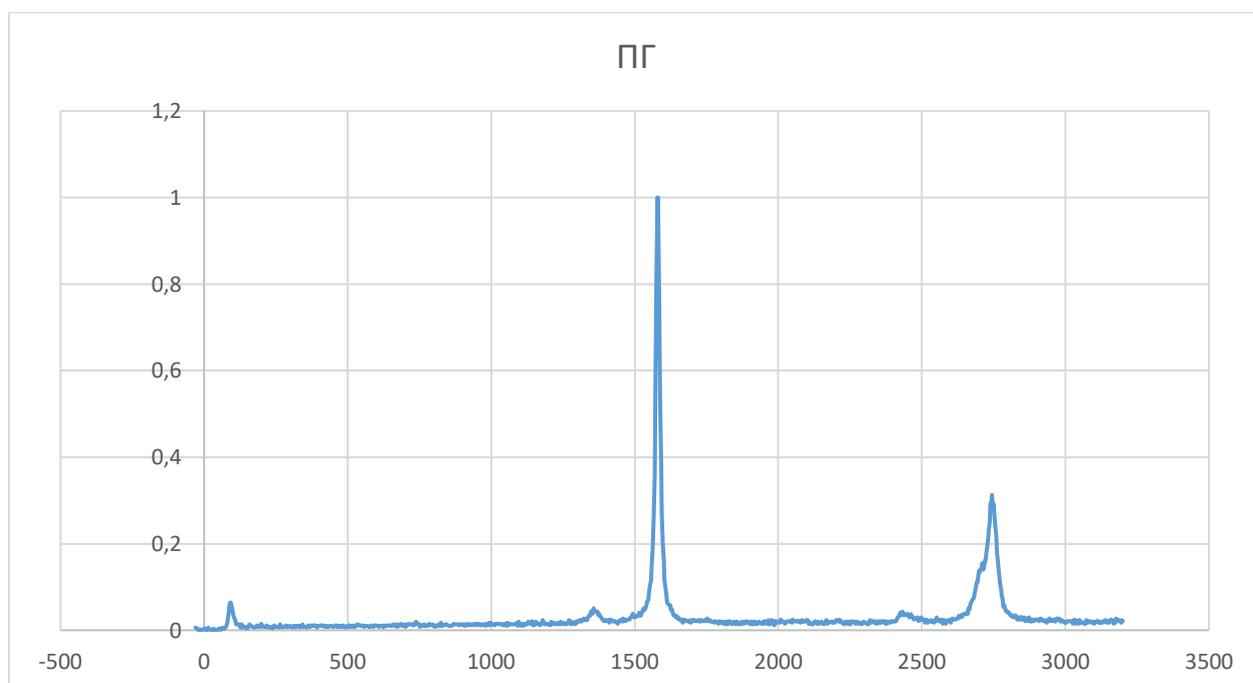


Рисунок 3.7-Нормированный спектр КРС исходного графита ПГ

На рисунках 3.8 и 3.9 приведены спектр КРС и нормированный спектр ПГ интеркалированного МКВ в ЦФ. Пик 2D как по положению, так и по форме не изменился. Положение пика 2745 см^{-1} , структура пика также сохранилась.

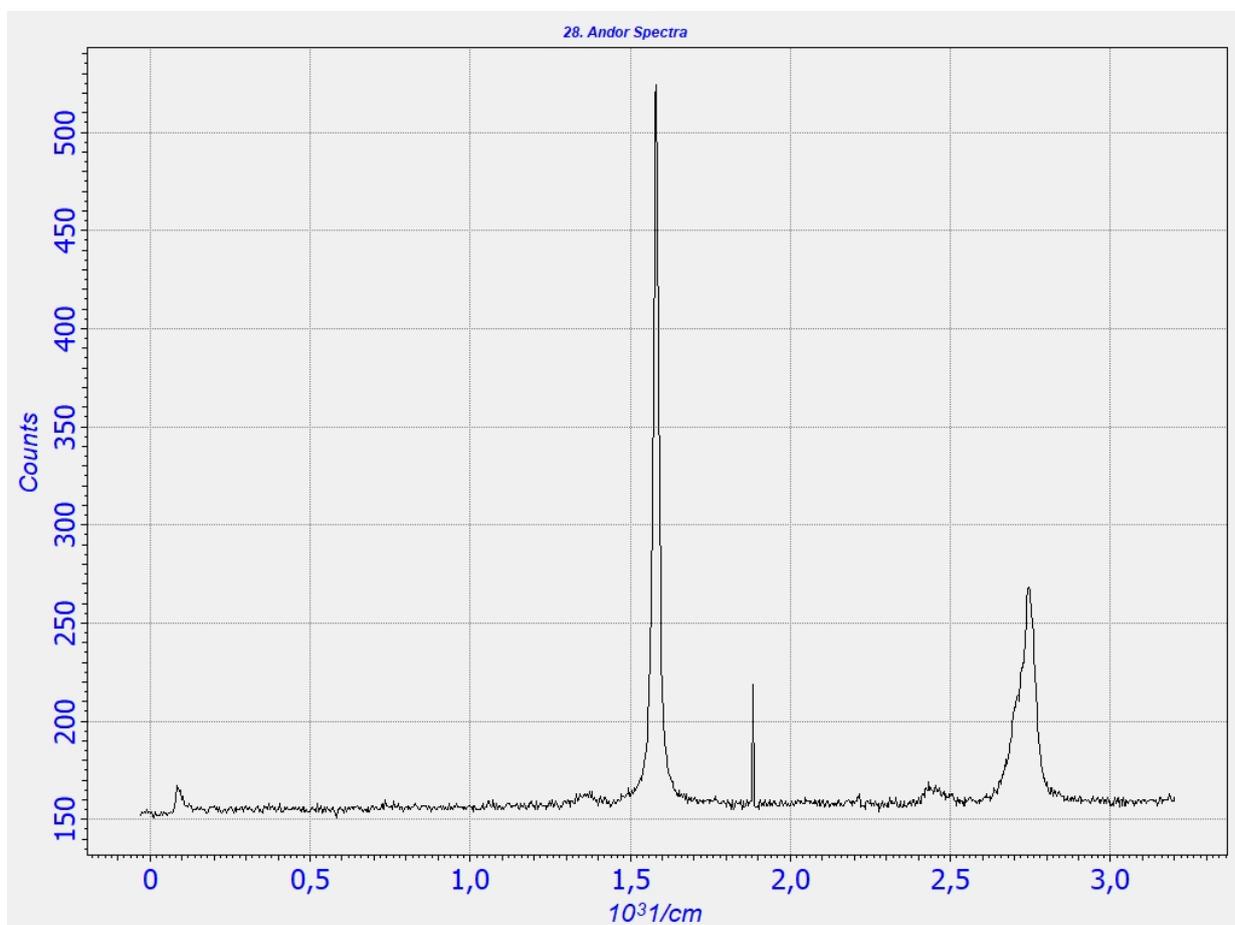


Рисунок 3.8-Спектр ПГ интеркалированного МКВ в ЦФ



Рисунок 3.9-Нормированный спектр ПГ интеркалированного МКВ в ЦФ

Высокие значения отношения пиков I_D/I_G соответствуют большому количеству графеновых частиц малого размера [34]. В наших образцах получились отношения $I_D/I_G=0,02$ (Рис.3.9). Полученные в работе [35] значения $I_D/I_G=0,4$ со ссылкой на мнение других ученых авторы считают показателем наличия большого количества малослойных графеновых частиц, полученных в виде суспензий. При применении нашей методики, получаются отношения $I_{2D}/I_G=0,38$. Более высокие значения I_{2D}/I_G получаются только на графене, полученном микромеханическим путем, или выращенных в газовой фазе [34].

В работе [36] через отношение I_D/I_G находят размеры графеновых кристаллитов в базисной плоскости:

$$L=(2,4*10^{-10}) * \lambda^{4*} (I_D/I_G)^{-1} \quad (2-3).$$

Где λ -длина волны возбуждающего лазера (в наших опытах 473 нм), L получается тоже в нм. Подставляя найденное значение $I_D/I_G=0,02$ в формулу (2-3), находим $L=600$ нм.

Таким образом, при применении МКВ графеновые частицы получают менее дефектными, чем полученные, например, при интеркаляции в графит трифторида хлора и восстановленных из оксида графена, значения которых в работе [16] были 10 нм и 6,9 нм, соответственно. Дефектность полученных графеновых наноструктур авторы связывают с особенностью получения графена – при удалении четырех атомов фтора, углеродная матрица теряет один атом углерода в случае с трифторида хлора и при удалении четырех атомов кислорода теряется от двух до четырех атомов углерода в случае с восстановленного из оксида графена. При нашем методе деформация углеродных слоев не происходит, дефектность графеновых наноструктур объясняется дефектностью слоев исходного графита, поскольку в нем отношение I_D/I_G имеет такой же порядок, как и полученных графеновых наноструктур.

По формуле

$$\Delta\nu \text{ (см}^{-1}\text{)} = (\lambda_0^{-1} - \lambda_1^{-1}) * 10^7 \text{ (нм/см)} \quad (2-4)$$

(где λ_0 - длина волны возбуждающего лазера в нм, λ_1 - длина волны рамановского спектра в нм) можно посчитать для нашего случая: $\lambda_0=473$ нм и для 2D пика $\Delta\nu=2727$ см⁻¹, получаем $\lambda_1= 543$ нм. Если будем возбуждать лазером с 514 нм, то тот же пик 2727 см⁻¹, будет соответствовать длине волны 599 нм. Если посчитать из формулы $\nu=\nu_0 - \Delta E/h$ величину энергии колебательного уровня, то она будет равна $\Delta E=5,28*10^{-20}$ Дж для обоих лазерных возбуждений.

$\Delta E=h*(\nu_0-\nu)$, т.к. $\nu=c/\lambda$, то $\Delta E=h*c*(\lambda_0^{-1} -\lambda^{-1})$. Подставляя (2-4), получим

$\Delta E = h * c * \Delta \nu$ (см⁻¹) / 10^7 (нм/см). Теперь хитрость в размерности. Длины волн были в нм, но поскольку они сократились, то их размерность не играет роли, 10^7 , очевидно превратится в системе СИ в $10^7 * 10^{-9}$, т.е. в 10^{-2} . Тогда окончательно

$$\Delta E = h * c * \Delta \nu (\text{см}^{-1}) * 10^{-9} = 1,98 * 10^{-23} * \Delta \nu (\text{см}^{-1}) \text{ Дж, или}$$

$$\Delta E = 1,23 * 10^{-4} * \Delta \nu (\text{см}^{-1}) \text{ эВ} \quad (2-5).$$

Для 2D пика при 2720 см⁻¹, получим 0,33эВ.

Отношение $E_{el} : E_k : E_r = 1 : (m/M)^{1/2} : (m/M)$, где соответственно $E_{el} : E_k : E_r$ - отношение энергии электронного, колебательного и вращательного движения молекул. Где m - масса электрона и M - масса ядер молекул, примерно $m/M \sim 10^{-3} - 10^{-5}$. Если E_{el} порядка эВ, то $E_k \sim 10^{-1} - 10^{-2}$ эВ, $E_r \sim 10^{-3} - 10^{-5}$ эВ.

Энергия фотона лазера при 473 нм будет равна $E = h * \nu = h * (c/\lambda) = 4,1 * 10^{-19}$ Дж, или 2,6эВ. Энергия конечного фотона при 543 нм будет $3,63 * 10^{-19}$ Дж, или 2,27эВ, при 633 нм -1,95эВ. Разница между энергией испущенного фотона и возбуждающего фотона равна 0,33эВ, что мы и получили выше.

Таким образом, формула (2-5) может быть использована для перевода величины рамановского сдвига в см⁻¹ в энергию колебательного уровня в эВ. Полученная энергия для 2D полосы в спектре графена соответствует колебательной энергии атомов углерода в 0,33эВ. Для G- полосы колебательной энергии 0,193эВ и для D- полосы – колебательной энергии 0,166эВ.

3.3. Особенности спектров КРС несколько слойных графенов

В работе [34] были проведены исследования однослойного, двухслойного и многослойного графена, полученного на подложках кремния и окиси кремния. Были измерены спектры КРС для всех образцов при длине волны света 514 и 633 нм. На рисунке 3.10 приведены интенсивность пика 2D, спектры масштабированы, чтобы пики 2D имели одинаковую интенсивность.

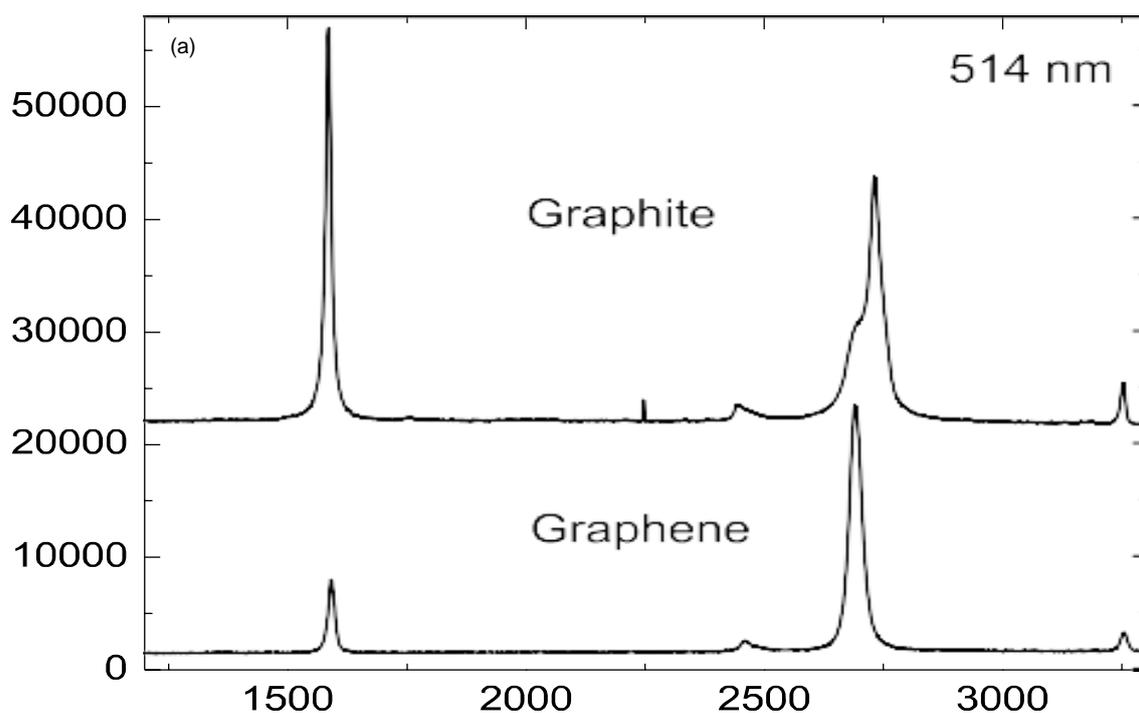


Рисунок 3.10-Сравнение спектров КРС графита и графена [34].

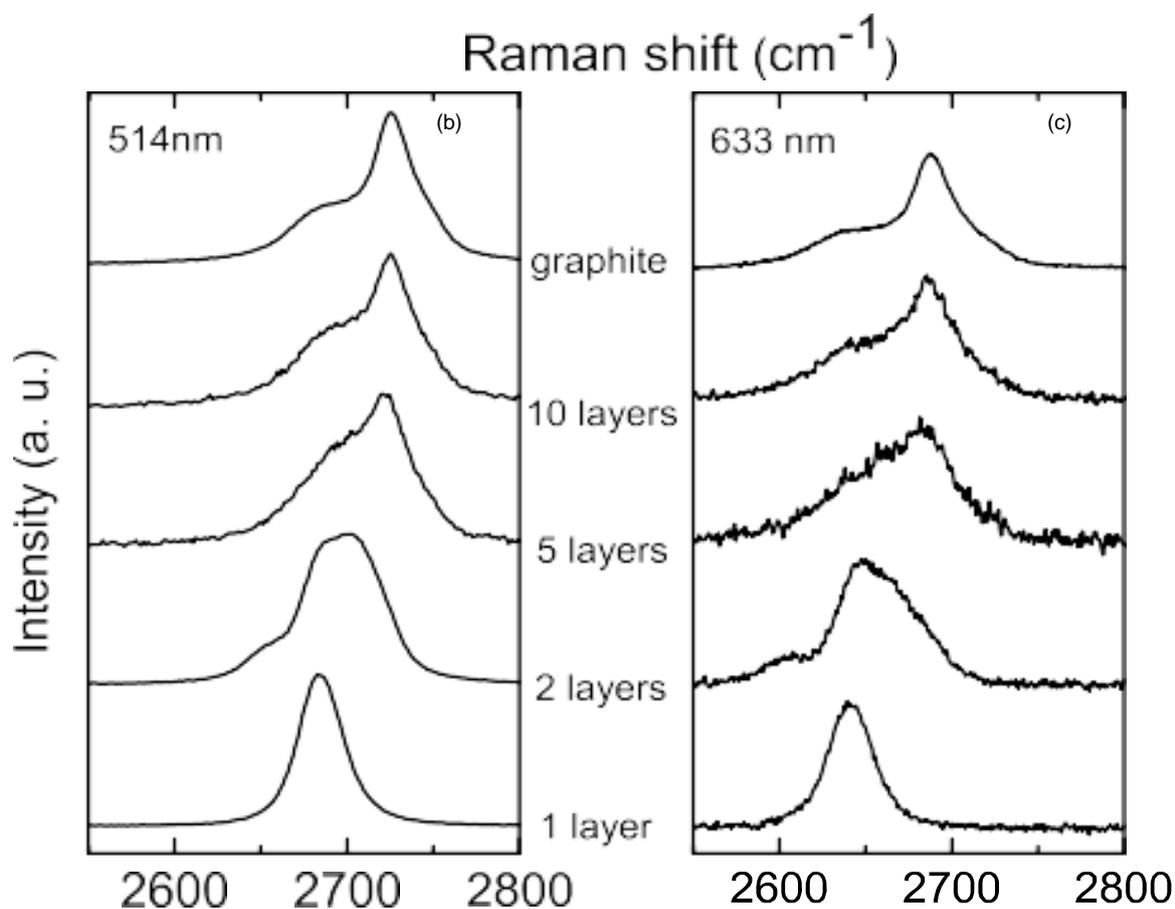


Рисунок 3.11-Эволюция пика 2D для графита, одно-, двух- и многослойного графена при длинах волн возбуждающего света 514 и 633 нм [34]

На рисунке 3.11 приведены изменения пика 2D спектров КРС графита и графена одно-, двух- и многослойного графена для длин волн возбуждающего света 514 и 633 нм. На рисунке 3.10 видно значительное изменение формы и интенсивности 2D-пика графена по сравнению с объемным графитом. 2D-пик в объемном графите состоит из двух компонентов 2D1 и 2D2, примерно $I_{2D1} = 4$ и $I_{2D2} = 2$ высоты G-пика соответственно. Видно, что острый 2D-пик графена, примерно в 4 раза более интенсивный, чем пик G. Примечательно, что интенсивность пика G однослойного графена и объемного графита сопоставима (обратите внимание, что Рисунок 3.10 масштабирован, чтобы показать аналогичную интенсивность в 2D), а положение G однослойного графена на 3–5 см⁻¹

выше, чем у объемного графита. На рисунке 3.11 изображена эволюция 2D-полосы в зависимости от слоев для возбуждений 514,5 и 633 нм. Это сразу указывает на то, что бислой имеет гораздо более широкую и смещенную вверх двумерную полосу по отношению к графену. Эта полоса также сильно отличается от объемного графита. Он состоит из 4 компонентов (Рисунок 3.12): 2D1B, 2D1A, 2D2A, 2D2B; два из которых, 2D1A и 2D2A, имеют более высокую относительную интенсивность, чем два других. На Рисунке 8 видно, что дальнейшее увеличение слоев приводит к значительному уменьшению относительной интенсивности низкочастотных пиков 2D1. При наличии более 5 слоев спектр комбинационного рассеяния становится едва отличимым от спектра объемного графита. Таким образом, рамановская спектроскопия позволяет четко различать один слой, бислой и несколько (менее 5) слоев. Это также объясняет, почему эксперименты с нанографитами, но не с одно- или двухслойным графеном, не выявили этих особенностей. В частности, в ранних исследованиях было отмечено, что турбостратный графит имеет единственный двумерный пик [34] [37]. Однако его полная ширина на половине высоты составляет 50 см^{-1} , что почти вдвое больше, чем у 2D-пика графена, и смещена вверх на 20 см^{-1} . Турбостратный графит также часто имеет D-пик первого порядка [36].

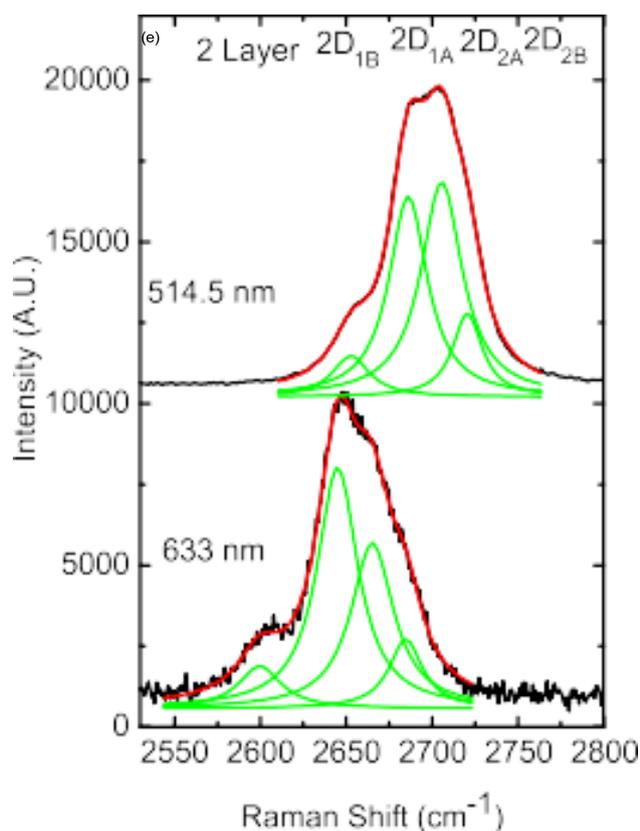


Рисунок 3.12-Четыре компоненты пика 2D в двухслойном графене при длине возбуждающего света 514 and 633 нм.

Из рисунка 3.12 следует, что чем меньше длина волны лазера, тем пик правее и четко проявляется структура – плечо слева.

Авторы [34], дают объяснение почему графен имеет один двумерный пик и почему он разделяется на четыре компонента в двухслойном графене. Несколько авторов ранее пытались объяснить двойную структуру 2D-пика в графите, однако всегда пренебрегали эволюцией электронных зон с числом слоев, что, наоборот, равно ключевой факт. Двумерный пик в графене обусловлен двумя фононами с противоположными импульсами в высшей оптической ветви вблизи К (симметрия A'_1 при К) [34]. На рисунке 3.13 видно, что этот пик меняет положение при изменении энергии возбуждения. Это связано с процессом двойного резонанса (ДР), который связывает волновые векторы фононов с электронной зонной структурой [34].

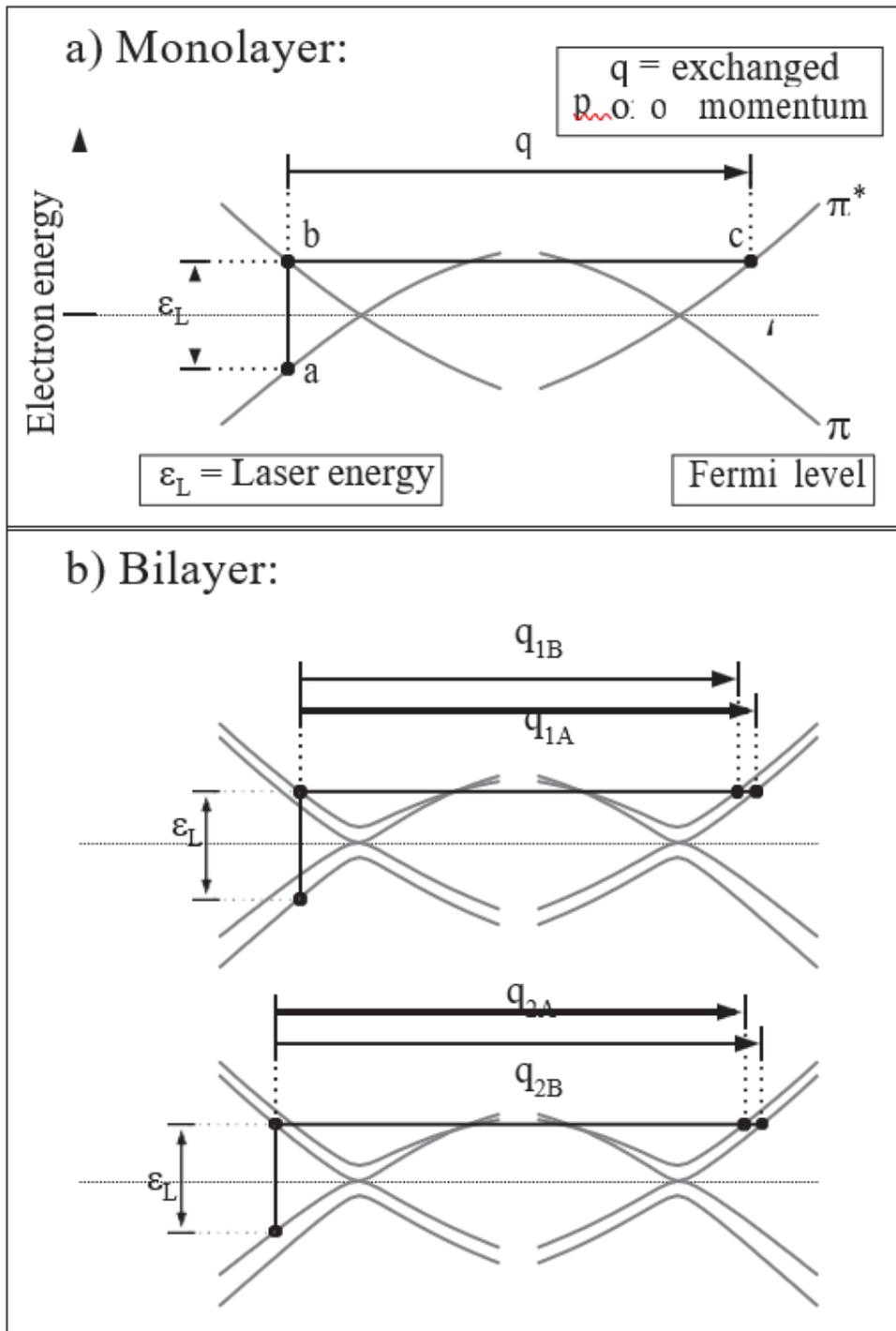


Рисунок 3.13. Двойной резонанс (ДР) при рамановском рассеянии в однослойном графене (а) и двухслойном графене (б) [34].

В рамках ДР комбинационное рассеяние света представляет собой процесс четвертого порядка, включающий четыре виртуальных перехода: (i) лазерное возбуждение электронно-дырочной пары (вертикальный переход $a \rightarrow b$ на рисунке 3.13); (ii) электрон-фононное рассеяние с обменным импульсом q , близким к K ($b \rightarrow c$); (iii) электрон-фононное рассеяние с обменным импульсом q ($c \rightarrow b$); (iv) электронно-дырочная рекомбинация ($b \rightarrow a$). Условие ДР достигается при сохранении энергии в этих переходах. Результирующая двумерная рамановская частота в два раза превышает частоту рассеивающего фонона, при этом q определяется условием ДР. Для простоты на Рисунках 10(a) и 10(б) пренебрегают энергией фононов и не показывают эквивалентных процессов для дырочно-фононного рассеяния. Кроме того, рассматриваются только дисперсии вдоль Γ - K - M - K' - Γ . Переходы в пределах этой линии соответствуют пикам в фононном распределении, выполняющем ДР, если учесть тригональное искривление [16].

Ниже приведена кристаллическая решетка графена и специальные точки, вдоль которых рассматривалась дисперсия фононов (Рисунок 3.14).

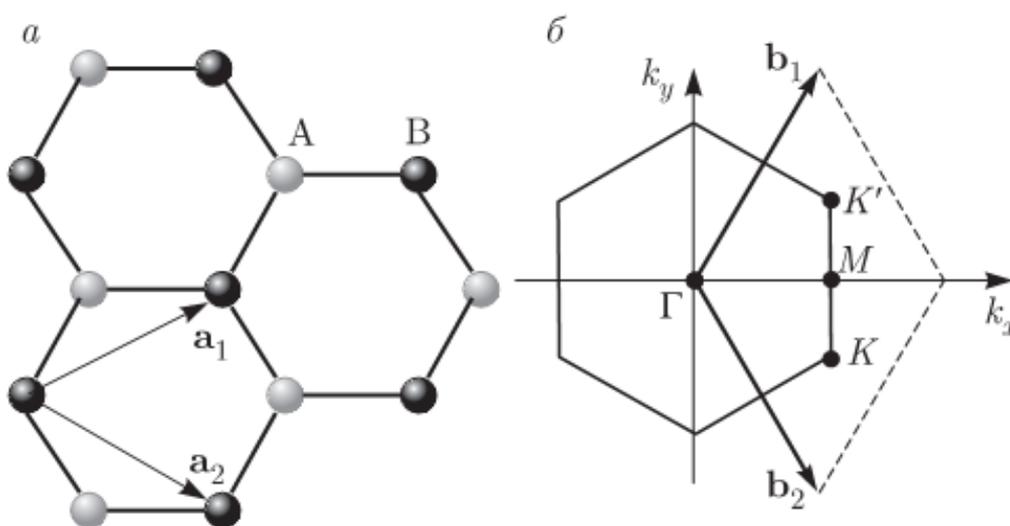


Рисунок 3.14-Кристаллическая решетка графена; подрешетки А и В – соответственно светлые и темные кружки; б) обратная решетка и некоторые специальные точки в зоне Бриллюэна. a_1 , a_2 и b_1 , b_2 – векторы соответственно прямой и обратной решеток.

В статье [36] также анализируют спектры КРС для несколькихслойного графена. Параметры однофононной полосы G спектра КР несколькихслойного графена слабочувствительны к его строению так же, как в графене, они не зависят от энергии возбуждения лазера, а контур полосы хорошо аппроксимируется единственным лоренцианом с центром при $\sim 1580 \text{ см}^{-1}$. Двухфононная полоса 2D в несколькихслойном графене демонстрирует существенно иные свойства: она не аппроксимируется отдельным лоренцианом, ее характеристики зависят от энергии возбуждения лазера, как уже отмечалось выше и чувствительны к числу слоев и типу их укладки. Например, в двухслойном графене с АВ-типом упаковки слоев ее можно представить в виде суммы четырех лоренцианов (Рисунок 3.12), каждый из которых связан с одним из четырех возможных процессов двухфононного комбинационного рассеяния (Рисунок 3.13). Согласно результатам теоретического анализа зонной структуры, трехслойного графена с АВ-типом упаковки слоев, в его спектре КР полоса 2D должна содержать уже 15 лоренцианов [37]. При большем числе слоев ожидаемое число компонент рассматриваемой полосы будет еще больше. Однако их реально наблюдаемое число, как правило, меньше ожидаемого из теории, в том числе из-за вырождения определенных зон и наложения некоторых из компонент. По этой причине в трех- и четырехслойном графенах полосу 2D удастся хорошо аппроксимировать соответственно шестью и восемью лоренцианами (Рисунок 3.14), имеющими разные интенсивности, но одинаковую ширину, равную 24 см^{-1} . В несколькихслойных графенах с турбостратной упаковкой слоев полоса 2D, так же, как и в турбостратных графитах, не имеет структуры. Таким образом, анализ структуры полосы 2D позволяет четко отличить графен от несколькихслойных графенов, различить несколькихслойные графены с турбостратной и упорядоченной укладкой слоев и определить число слоев в последних.

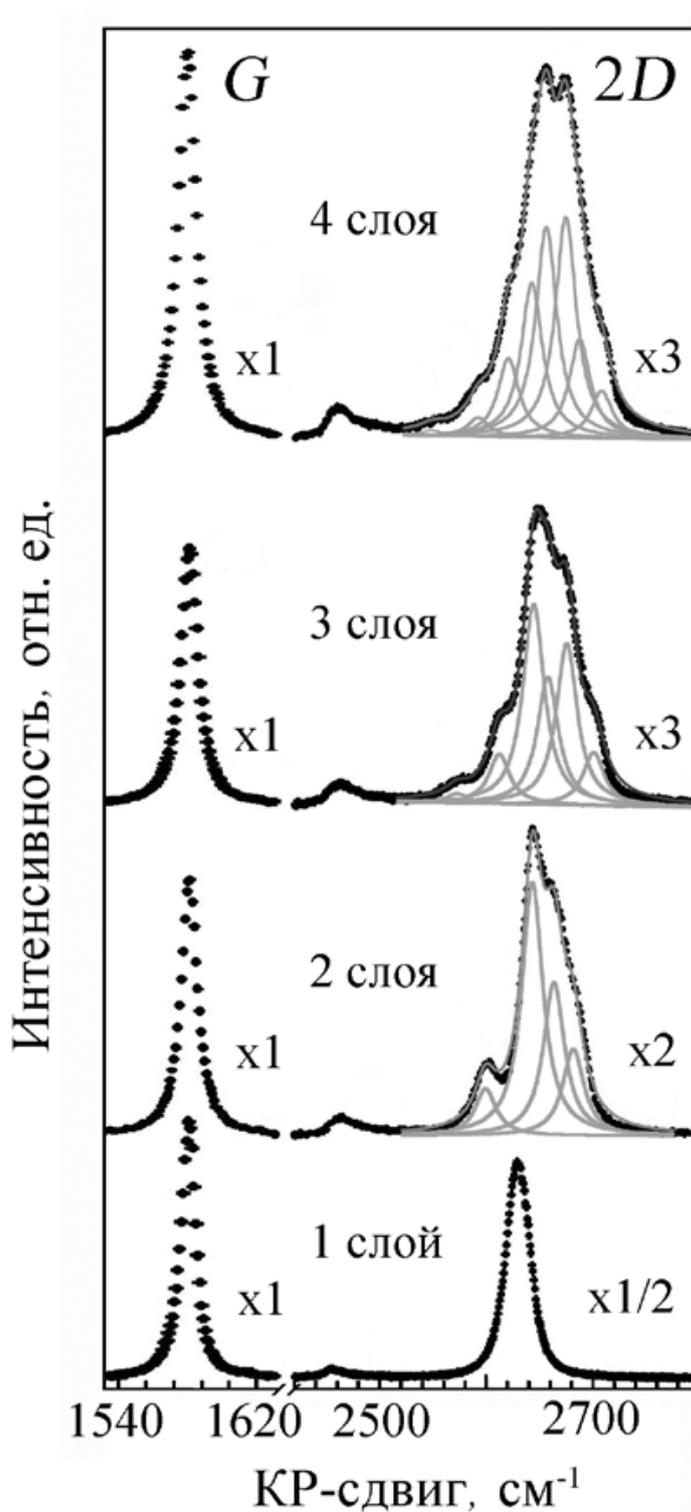


Рисунок 3.14- Экспериментальные G и 2D полосы спектров КР одно- и многослойных графенов (точечные линии) и аппроксимация 2D полос лоренцианами (серые линии). Сплошные линии – суммы всех компонент разложения полосы 2D. Энергия возбуждающего света = 1,96 эВ [36].

3.4. Электронная спектроскопия полученных образцов

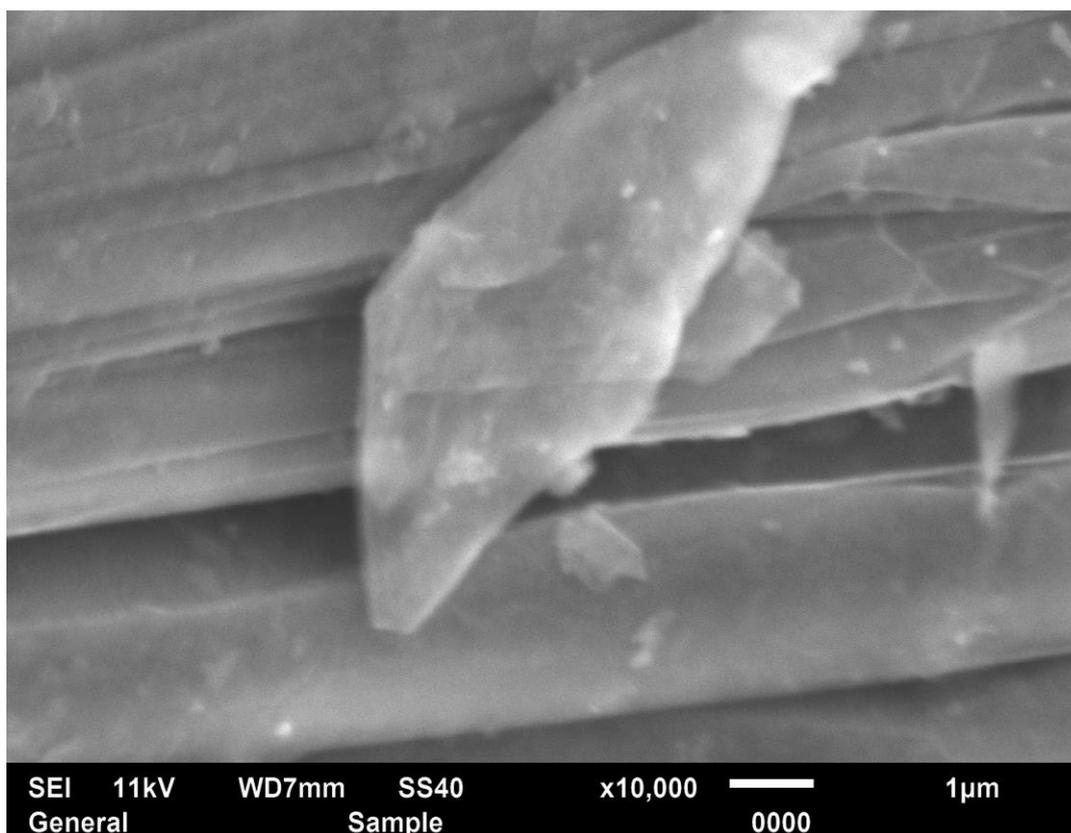


Рисунок 3.15- Снимок СЭМ исходного графита ПГ.

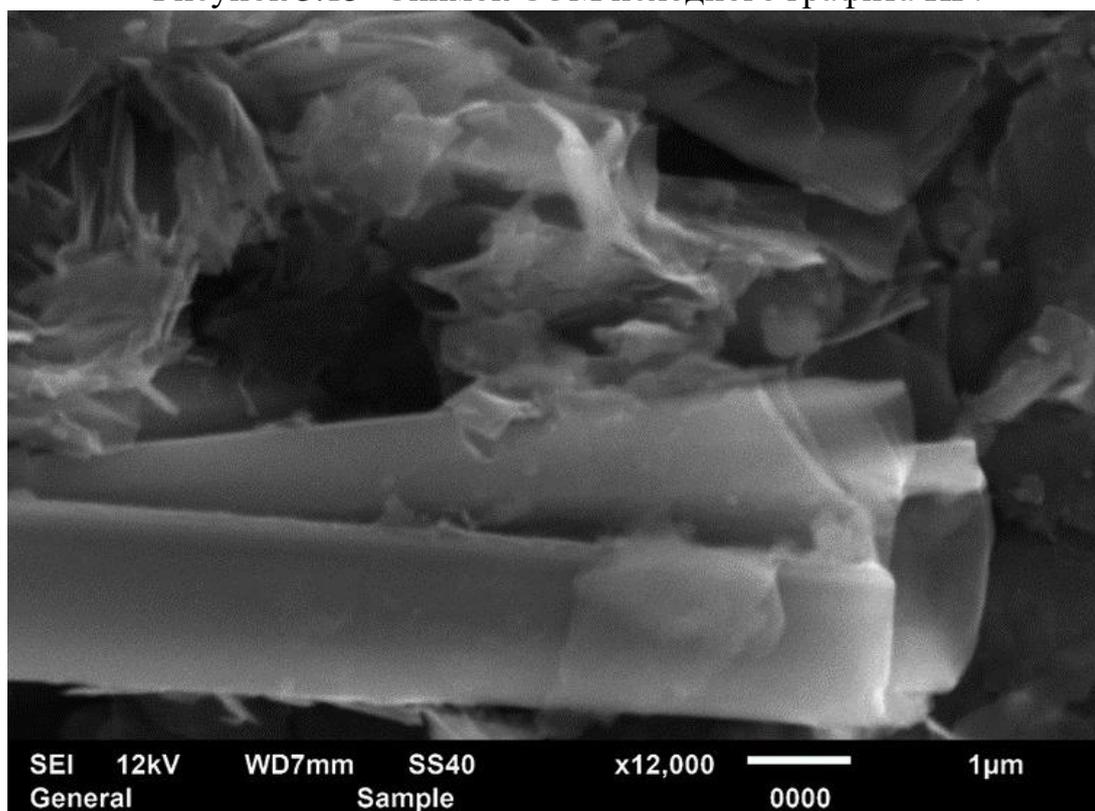


Рисунок 3.16- СЭМ снимок образца после центрифугирования.

Для микроструктурного анализа образцов был использован универсальный сканирующий (растровый) электронный микроскоп JSM-6510.

На рисунке 3.17-3.19 приведены СЭМ изображение графеновых структур, полученных в опытах с графитом в МКВ после центрифугирования. Видна «прозрачность» некоторых листов, смятие и складывание слоев. Такое смятие и складывание, очевидно указывает на малое количество слоев и их малую толщину, что может означать, что в ходе обработки графита с МКВ в центрифуге происходит расслоение графита с образованием графена. Для сравнения на рисунке 3.15 показан снимок СЭМ исходного графита ПГ до опытов с МКВ.

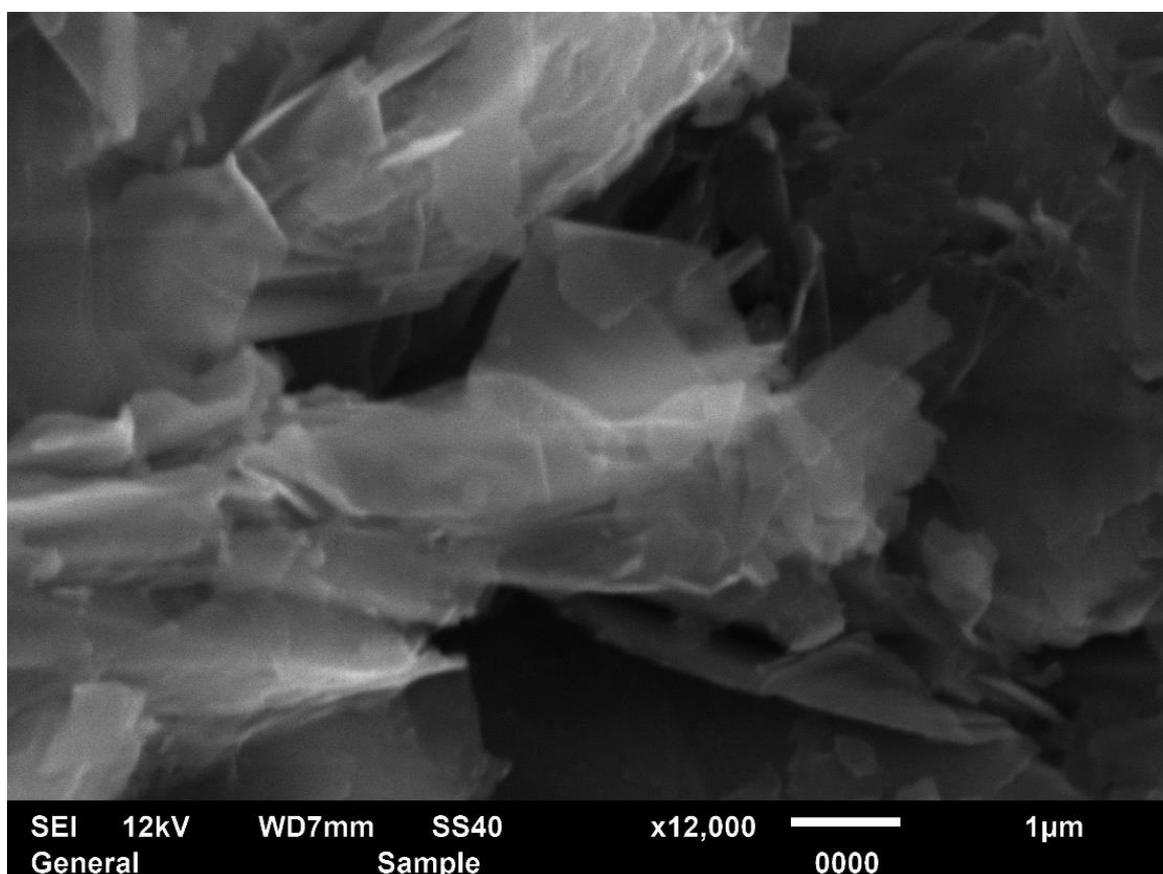


Рисунок 3.17- СЭМ снимок образца после центрифугирования.

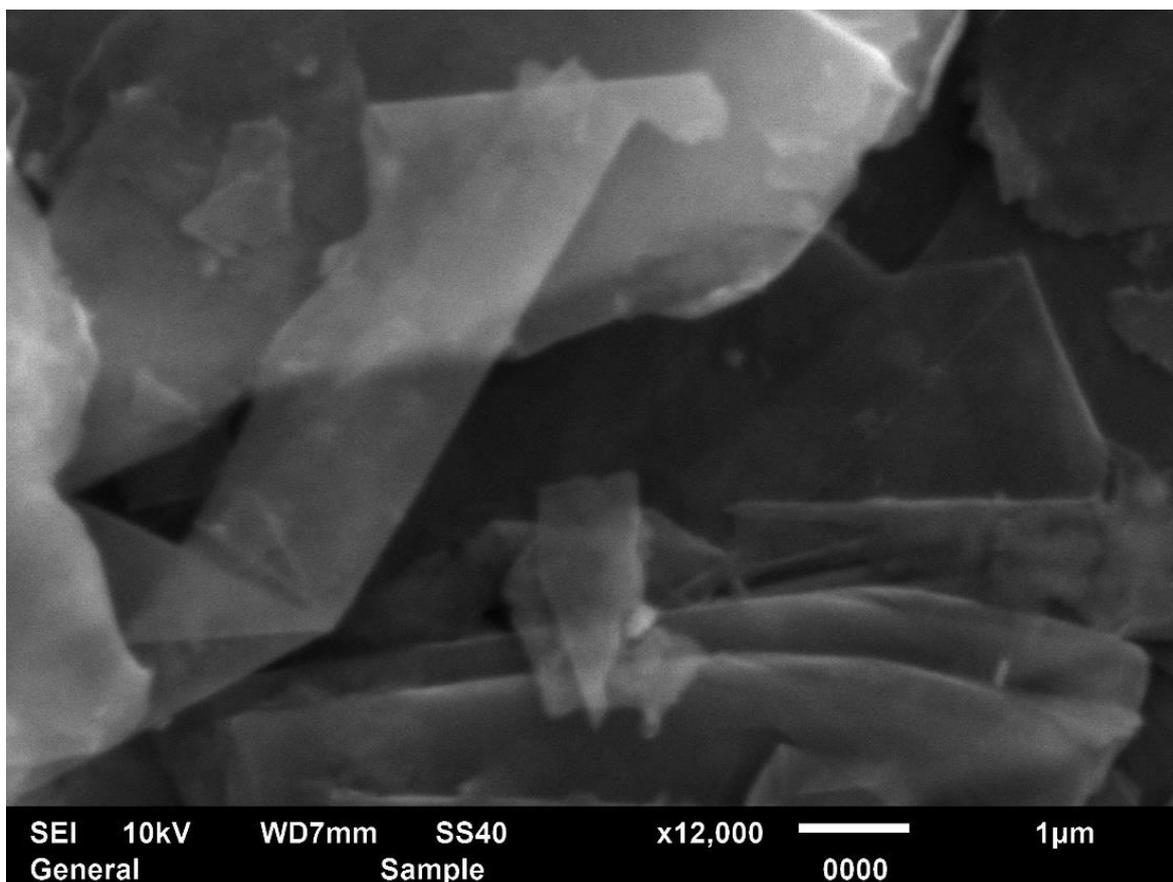


Рисунок 3.18- СЭМ снимок образца после центрифугирования.

На Рис.3.2 был показаны разрывы кристаллитов в интеркалированном графите Graft EG-35 (КНР) [16]. Похожая картина наблюдается и в наших образцах (Рис.3.18), но в отличие от Рис.3.2 в наших образцах слои более тонкие, о чем свидетельствует закручивание ближних краев некоторых слоев и изломы некоторых из них. Также видно, что разрывы на рисунке 3.2 достигают 100 нм, в наших образцах 1 мкм, т.е. на порядок больше.

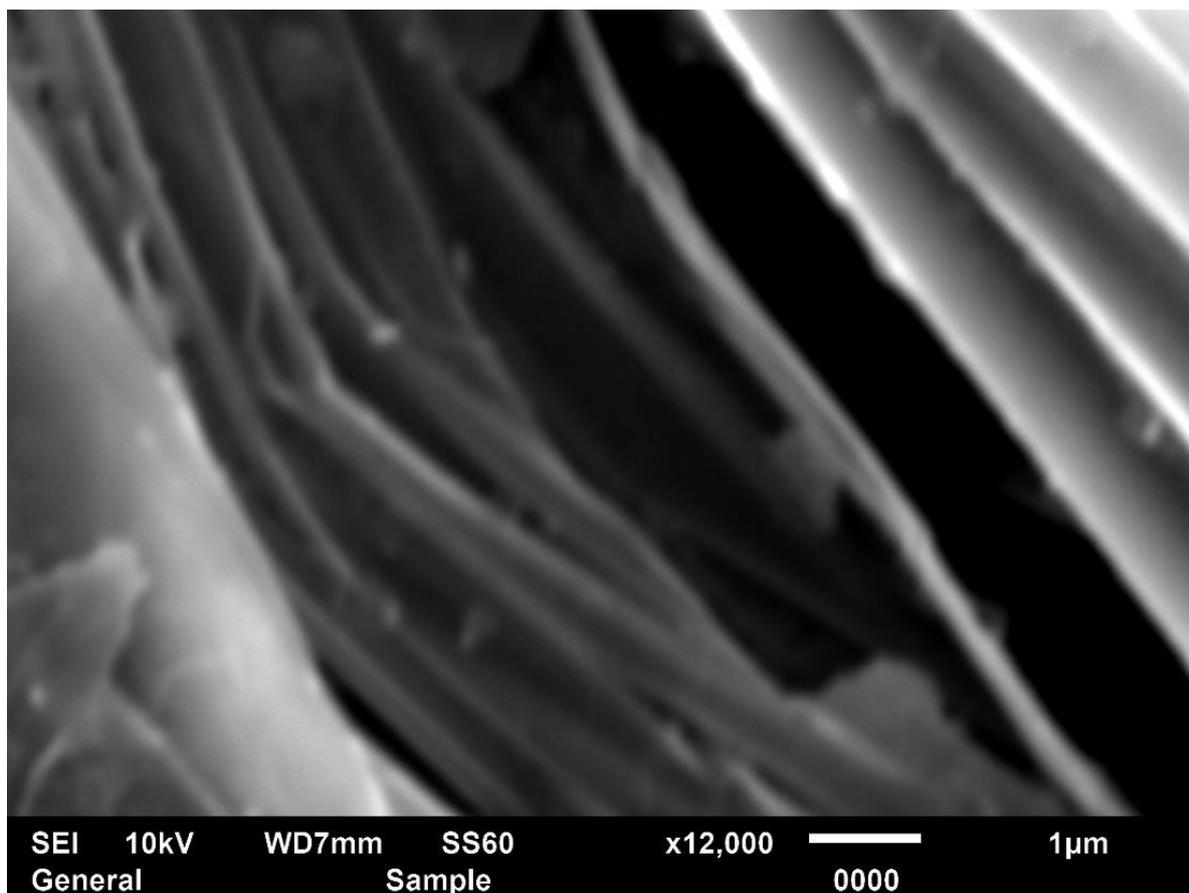


Рисунок 3.19- СЭМ снимок образца после центрифугирования.

Поскольку в дистиллированной воде никаких изменений не наблюдалось, мы делаем вывод, что происходит интеркаляция «микрокластеров» в межслойное пространство графита, вызывая его расширение от $3,44 \text{ \AA}$ до 6 \AA и при длительном воздействии увеличивая это расширение в некоторых местах. По Рис.3.19 видно, что эти разрывы достигают микронных размеров.

3.5 Использование порошка графена в качестве композита

Как отмечалось выше «достаточно сложно получить реальные (неискаженные) рамановские спектры для графена, полученного жидкофазной эксфолиацией, поскольку при сушке графеносодержащей водной суспензии происходит агломерация малослойного графена и его содержание в пробе уменьшается. Учитывая это, эффективность данного способа получения графеновых наноструктур лучше оценивать по влиянию на улучшение эксплуатационных характеристик конкретных материалов при их модифицировании». В связи с этим полученный порошок графена, полученного из ПГ в МКВ в электрическом поле использовался в качестве добавки в затворную воду, использованную для приготовления бетона. Повышение эксплуатационных характеристик бетонов – и в первую очередь прочности на сжатие и изгиб – является весьма актуальной задачей. Модификаторы для бетона – это продукты химической промышленности органического и неорганического происхождения. Их включают в состав смесей, чтобы повлиять на их физико-химические свойства, а также для придания бетону высоких эксплуатационных характеристик. Всего добавок для бетона насчитывается около тысячи разновидностей, и все они имеют различное назначение и сочетание свойств. Модификаторы для бетона, согласно ГОСТ 24211-2003, можно разделить на три основные группы: 1) добавки, которые регулируют основные характеристики смесей, уже готовых к применению; 2) модификаторы, которые изменяют основные свойства бетона; 3) лигатуры, которые придают бетонам специальные свойства.

Однослойный и многослойный графен имеют большую удельную площадь поверхности и высокий модуль Юнга, порядка 2 ТПа. Графен взаимодействует с различными элементами, образующими С-S-H-группы, которые изменяют морфологию кристаллов при гидратации.

Обнаружено более 40 вариаций кристаллов силиката, встречающихся в составе цемента. Именно они образуют гидрат силиката кальция (C-S-H), который является одним из основных элементов, улучшающих механические свойства бетона.

Из-за высокой поверхностной энергии графена частицы C-S-H, связанные с графеном, выступают в качестве центров зародышеобразования, способствуя росту гелей C-S-H вдоль графеновых хлопьев. Этот процесс приводит к увеличению прочности цемента [33]

Другой фактор, определяющий прочность на сжатие бетона, – это степень пористости. Внутри цементной смеси образуются пустоты из-за негидратированных кристаллов или выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Кристаллы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ имеют тенденцию образовываться на наноразмерном уровне и, благодаря их высокой растворимости, выщелачиваются, когда бетон подвергается воздействию пресной воды. Этот процесс увеличивает пористость бетона и, следовательно, снижает его прочность. Исследования показали, что микроструктура цементного раствора, модифицированного графеном, более тонкая и плотная, что приводит к повышению прочности и долговечности.

Водную суспензию малослойного графена использовали в качестве воды затворения при приготовлении цементных растворов для изготовления образцов. Суспензию разбавляли чистой водой таким образом, чтобы концентрация малослойного графена составляла 0,05 мас. % по отношению к цементу. При изготовлении контрольных образцов использовали те же соотношения цемента, песка и чистой воды.

Для определения прочностных характеристик цемента изготавливали образцы-балочки размером 40×40×160 мм.

Таблица 3.1- Показатели прочности бетона с добавкой графена.

Образец	Прочность на сжатие, МПа	Статистические показатели	Прочность на изгиб, МПа	Статистические показатели
Контрольный образец (без добавки)	36.6 34.1 37.6 37.9	Квадратичное отклонение, $\sigma_s=1.72$ Среднее значение, $ x_i = 36.52$ МПа Коэффициент вариации, $P = 4.7\%$	4.9 4.7 4.6	Квадратичное отклонение, $\sigma_s=0.15$ Среднее значение, $ x_i = 4.7$ МПа Коэффициент вариации, $P = 3.2\%$
Образец с добавкой	40.9 46.6 41.6 37.4 33.5 32.9	Квадратичное отклонение, $\sigma_s=5.28$ Среднее значение, $ x_i = 38.82$ МПа Коэффициент вариации, $P = 13.6\%$	5.9 5.7 5.5	Квадратичное отклонение, $\sigma_s=0.20$ Среднее значение, $ x_i = 5.7$ МПа Коэффициент вариации, $P = 3.5\%$

Работы были проделаны в лаборатории «Испытательная лаборатория Научно-производственный центр «ENU-Lab». В таблице 3.1 приведены результаты испытаний на прочность образцов с добавкой порошка графена и контрольных образцов. (Протокол от 25 августа 2021 года). Незначительная тенденция увеличения прочности на сжатие образцов с добавками: прочность на сжатие образцов с добавками в среднем на 6 % превышает прочность на сжатие образцов без добавок. Однако наблюдается меньшая стабильность результатов прочности образцов с добавками по отношению к образцам без добавок: у образцов с добавками коэффициент вариации 13,6% при квадратичном отклонении 5.28, тогда как у образцов без добавки коэффициент вариации 4,7% при квадратичном отклонении 1.72. Увеличение вариации говорит о том, что некоторая тенденция к упрочнению на сжатие наблюдается.

Увеличение прочности на изгиб образцов с добавками в среднем составляет 20% по отношению к образцам без добавок. Частные значения

показателей прочностей на изгиб имеют тесную связь и высокую сходимость, коэффициент вариации не превышает 3,5%. Увеличение на изгиб на 20% является существенным для такой прочностной характеристики.

В работе [38] отмечается, что по мере увеличения прочности на сжатие контрольного образца (не модифицированного малослойным графеном) эффективность модифицирования снижается. В их работе прочность на сжатие контрольного образца варьировалась от 5 МПа до 30 МПа, зависимость относительной прочности на сжатие и изгиб от прочности контрольных образцов приведены на рисунках 3.20 и 3.21. В наших экспериментах нами изменялось соотношения цемент/песок таким образом, чтобы получить прочность на сжатие у контрольных образцов от 30 МПа до 40 МПа. Эти значения соответствуют максимальным параметрам использованных авторами [38] и при которых наблюдается минимальный эффект от модификации цемента графеном. Тем не менее, наличие заметного эффекта увеличения прочности на изгиб в наших экспериментах, в совокупности с данными электронной микроскопии свидетельствуют, что

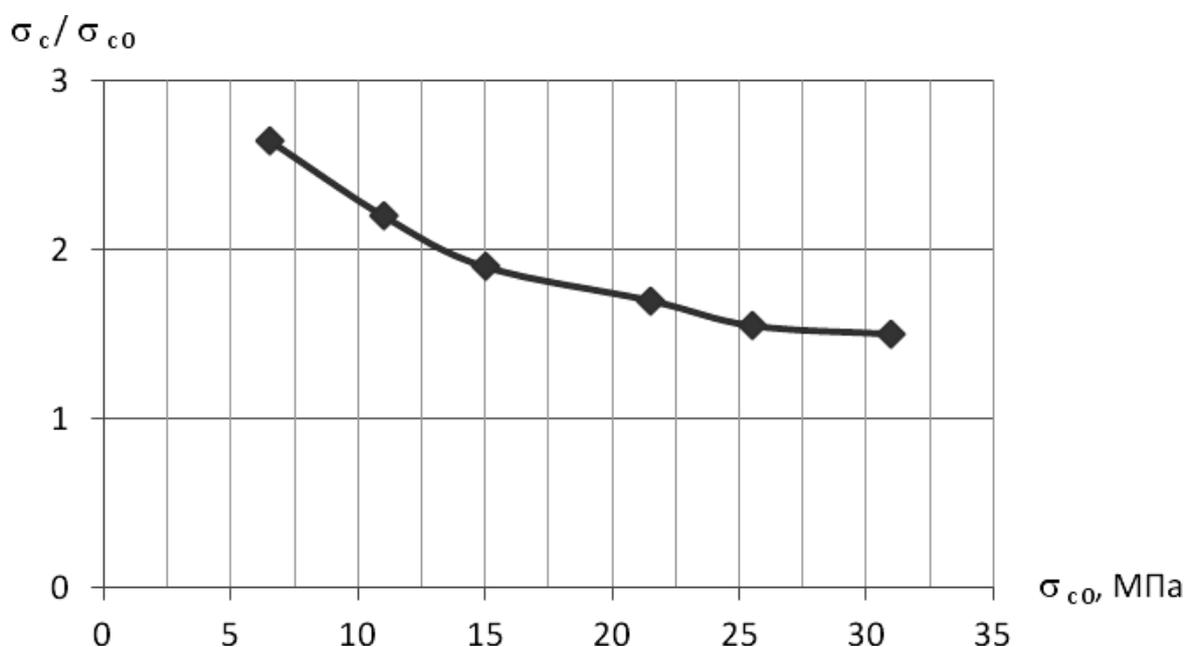


Рисунок 3.20- Зависимость относительной прочности на сжатие при разных значениях прочности контрольных образцов [38]

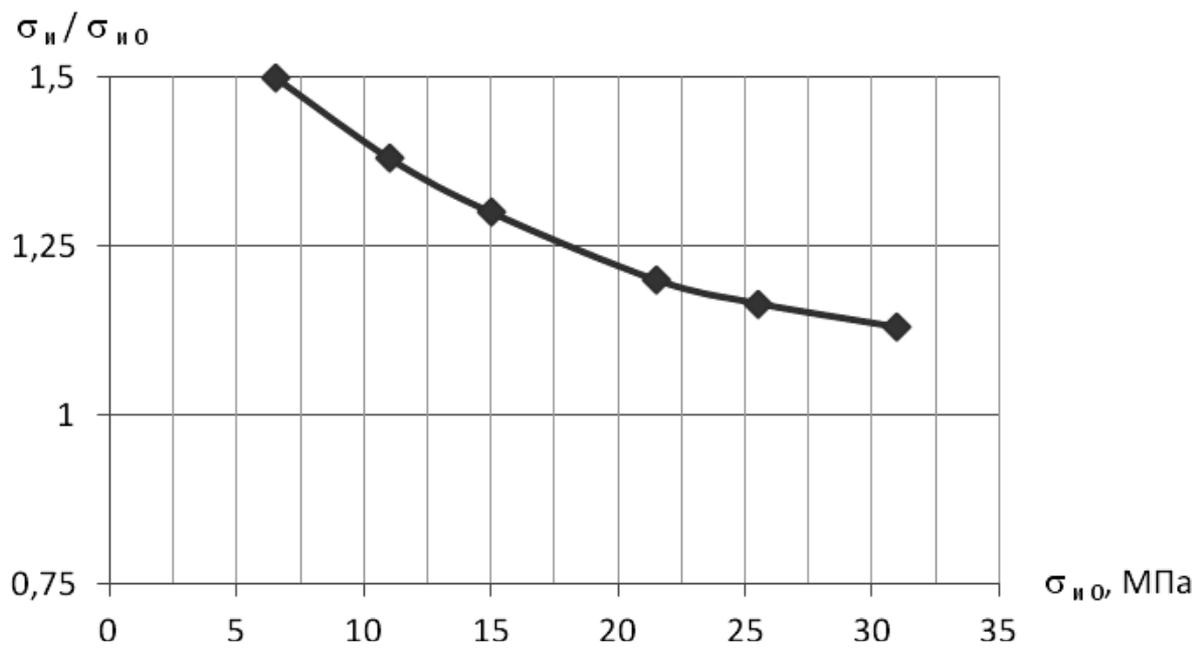


Рисунок 3.21-Зависимость относительной прочности на изгиб при разных значениях прочности на сжатие контрольных образцов [38]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что для прямых лопастей максимальная мощность будет для прямоугольных лопастей.

Получено уравнение $N_R = \frac{K_1 \rho S V^3}{2}$ для расчета мощности ветровых турбин с прямыми прямоугольными лопастями, которая может быть полезна при их проектировании и изготовлении. Показано, что коэффициент

$$K_1 = \frac{4\lambda q \sqrt{6}}{9\pi} \sqrt{\lambda/\mu} \text{ здесь } q \text{ — отношение ширины лопасти к ее длине.}$$

Выведена формула для частоты вращения турбины, выраженная в оборотах в минуту- $\nu = 12,3V / r$.

Полученные формулы показывают, что способами увеличения мощности ветровой турбины с прямыми лопастями являются увеличение коэффициента подъемной силы λ , и/или отношения ширины лопасти к ее длине q , также видно, что частота не зависит от ширины лопастей. Сделан прогноз величин частот вращения для ветровой турбины с прямыми лопастями при различных скоростях ветра. Результаты расчетов показали, что для турбин с лопастями длиной 9 м и шириной 7 м нужно применять электрогенератор мощностью 1 МВт, для турбин с лопастями длиной 20 м и шириной 7 м, необходим электрогенератор мощностью около 2 МВт. Сделаны прогнозные расчеты выработки электроэнергии таких турбин.

Полученные результаты будут важны при проектировании и изготовлении ветровых турбин с прямыми лопастями, в частности при выборе мощности электрогенераторов. Представляется, что для использования в сельских территориях перспективы такого типа ветровых турбин достаточно большие.

Получены экспериментальные результаты, свидетельствующие об интеркаляции графита микрокластерной водой при центрифугировании с образованием графеновых наноструктур. В отличие от других методов он не требует применения вредных химических реагентов. Кроме того, исследования показали, что данная методика не увеличивает дефектность углеродных слоев исходного графита, в отличие от других методов, основанных на интеркаляции графита, или получения графена методом восстановления из оксида графена. Описанные результаты позволяют предложить новый метод получения графена без применения химикатов, поверхностно активных веществ. Такой метод свободен от необходимости очищения полученного графена от следов ПАВ, что часто является сложной задачей. Всё это позволило считать, что данный метод получения графена путём интеркаляции микрокластерной воды в графит имеет большие перспективы при производстве порошка графена, этот метод был запатентован нами и проводятся работы по его реализации [39-40].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жильцов В.Г., «Ветровой атлас Казахстана и перспективы использования ветровой энергии,» Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, т. №8, pp. 62-69, 2011.
2. Каргин Д.Б., Жангозин К.Н., Комбаров М.Н., Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка средств повышения эффективности работы ветровых электростанций Казахстана», № госрегистрации 0112РКИ0415, инв.№0212РКИ0209 ГЦНТЭ ред., Астана, 2018.
3. Комбаров М.Н., «Аспекты форсированного развития ветроэнергетики Казахстана,» Вестник Академии Естественных наук, т. №2, 2015.
4. Kombarov M., «Investment in alternative energy solutions electricity generation in Kazakhstan for export to China,» Word Finance Review, pp. 73-75, 2009.
5. Комбаров М.Н. Возобновляемые энергетические ресурсы Казахстана, Астана: ЕНУ им. Л. Гумилева, 2013, р. 370.
6. Комбаров М.Н., Жангозин К.Н., Шегенбаев А., «Шағын жел электр станцияларын құру қажелеттілігі туралы,» Энергетика, т. №3, № 74, pp. 28-29, 2020.
7. Комбаров М.Н., Мусабеков К., «О создании единой энергетической системы Евразийского континента,» 2017.
8. Комбаров М.Н., Сулейменова Г.С., «К вопросу освоения энергии ветров в Джунгарских Воротах,» Энергетика и топливные ресурсы, т. №4, pp. 62-69, 1993.
9. Комбаров М.Н., Комбаров С.М., «Специальная ветроэнергетическая установка для Джунгарских ворот,» Энергетика и топливные ресурсы Казахстана, т. "12, р. 67, 1994.

10. Тредовайн Э., Уэбб А., «Ветровой мониторинг ПРООН "Анализ ветровых ресурсов и оценка выработки энергии"».
11. Комбаров М.Н., «Ветродвижитель». РК Патент 27387, 2013.
12. Комбаров М.Н., «Ветряная турбина с подвижными опорами». РК Патент 23034, 2010.
13. Комбаров М.Н., «Повышение выработки ветротурбин ВЭС при эксплуатации,» Энергетика, т. №4, р. 63, 2017.
14. Комбаров М.Н., «Способ повышения подъемной силы лопастей». РК Патент 27388, 2013.
15. Жангозин К.Н., Каргин Д.Б., «О способах увеличения мощности ветровых турбин с прямыми лопастями,» Вестник ЕНУ. Серия физика и астрономия, т. №3, № 128, pp. 86-92, 2019.
16. Шульга Ю. М., Лобач А. С., Баскаков С. А., Спицына Н. Г., Мартыненко В. М., Рыжков А. В., Соколов В. Б., Маслаков К. И., Дементьев А. П., Елецкий А. В., Казаков В. А., Сигалаев С. К., Ризаханов Р. Н., Шульга Н. Ю. «Сравнительное исследование графеновых материалов, образующихся при термической эксфолиации графита и графита интеркалированного трифторидом хлора,» Химия высоких энергий., т. 47, № №6, pp. 481-489, 2013.
17. Савинский Н. Г., Васильев С. В., Наумов В. В., Соловьев М. Е., Швыркова Н. С., «Микроволновая обработка интеркалированного графита,» Вестник ЯрГУ. Серия Естественные и технические науки., № №4, pp. 80-86, 2013.
18. Dovgal A.N., Kostikov A.A., Kuznetsov A.A., Chernomaz V.N., «Layered compounds of graphite,» European Journal of Advanced Technogies., т. 60, pp. 32-39, 2012.
19. Zabel H., Chow P.C., «Intercalated graphite» Comments Condensed Matter.Phys., т. V.12, № №5, pp. 225-251, 1986.

20. Zabel H., Solin S.A., Graphite Interaction Compounds I. Structure and Dynamics., Berlin: Springer-Verlag Berlin. Springer Science&Business Media, 2013.

21. Жмуриков Е.И., Бубненко И.А., Покровский А.С., Харьков, В.В. Дрёмов Д.В., Самарин С.И., Графит в науке и ядерной технике, Новосибирск, 2013, р. 197.

22. Rangel Cortesa E., Magana Solisa L. F., and Arellano J. S., «Interaction of water molecule with a graphene layer.,» Revista Mexicana de Fisica, т. 2, № S59(1), pp. 118-125, 2013.

23. Lin C.S., Zhang R.Q., Lee S.T., Elstner M., Frauenheim Th. and Wan L. J., «Simulation of Water Cluster Assembly on Graphite Surface.,» Chem. J. Phys., № B 109, pp. 14183-14188, 2005.

24. Игнатов И., Мосин О.В., Великов Б., «Интернет журнал "Науковедение",» Институт управления, права и инновационных технологий.

25. Cui J., Liu H., Jordan K.D., «Theoretical Characterization of the (H₂O)₂₁ Cluster: Application of an n-body Decomposition Procedure.,» Chem J. Phys., т. 110, pp. 18872-18878, 2006.

26. Tokmachev A. M., Tchougréeff A. L., and Dronskowski R., «Hydrogen-Bond Networks in Water Cluster (H₂O)₂₀: An Exhaustive Quantum-Chemical Analysis.,» European Journal of Chemical Physics and Physical Chemistry, т. 11, № №2, pp. 384-388, 2010.

27. Jingong Pan, Lorenzen H.Lee, Francisco Carrillo, Huawen Wu, MengChu Zhou, Wang Zhi Y., «Cluster Water and Bio-signal Networks.,» 0-7803-8566-7/04/\$20.00, 2004.

28. Lorenzen L. H., «Microclustered water». USA Патент 6,033,678, 2000.

29. Lorenzen L., «Process for preparing microclustered water.» USA Патент 5,711,950, 1998.

30. Moro et al. R., *Physical Review Letters*, т. 97, p. 123401, 2006.
31. Гончарук В.В., Смирнов А.Н., Сыроешкин А.В., Плетнев С.С., Лапшин В.Б., Самсонов-Тодоров А.О., Маляренко В.В. «Способ определения структурного состояния воды». РФ Патент 2005140628/28, 2005.
32. Жангозин К.Н., Жанабергенов Т.К., Каргин Д.Б., «О новом методе получения порошкового графена,» *Вестник Евразийского Национального Университета им. Гумилёва.*, т. №3, № 136, pp. 8-16, 2021.
33. Першин В.Ф., Аль-Шиблави К.А., Баранов А.А., Пасько Т.В., «Получение малослойного графена способом жидкофазной сдвиговой эксфолиации,» *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки.*, т. 25, № №1, pp. 143-154, 2019.
34. Ferrari A. C., Meyer J. C., Scardaci V., Casiraghi C., Lazzeri M., Mauri F., Piscanec S., Jiang D., Novoselov K. S., Roth S., and Geim A. K., «Raman Spectrum of Graphene Layers,» *Physical Review Letters*, т. 97, p. 187401, 2006.
35. Самойлов В.М., Николаева А.В., Данилов Е.А., Ерпулева Г.А., Трофимова Н.Н., Абрамчук С.С., Понкратов К. В., «Получение водных суспензий графена под воздействием ультразвука в присутствии фторсодержащего ПАВ,» *Неорганические материалы*, т. 51, № №2, pp. 137-145, 2015.
36. Зиятдинов А.М., «Спектроскопия комбинационного рассеяния наноразмерных сотовидных углеродных структур,» *Вестник ДВО РАН*, № 6, pp. 27-40, 2020.
37. M. A. Pimenta M. A. Dresselhaus G. Dresselhaus M. S. Cancado. L. G. Jorio A. and Saito. R., «Studying disorder in graphite-based systems by Raman spectroscopy,» *Phys. Chem.*, т. 9, p. 1276, 2007.
38. Аль-шиблави К.А., Першин В.Ф., Пасько Т.В. , «Модифицирование цемента малослойным графеном,» *Вектор науки ТГУ*, т. 6, № 46, pp. 6-11, 2018.

39. Жангозин К.Н., Кешуов С.А., Жанабергенов Т.К. «Способ получения графена». Республика Казахстан Патент 35840, 28 07 2021.

40. Жангозин К.Н., Кешуов С.А., Жанабергенов Т.К. «Способ получения графена». Республика Казахстан Патент 6985, 28 07 2021



Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.

**ИННОВАЦИОННЫЕ КАЗАХСТАНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
РАЗВИТИЯ ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**

Монография

Подписано в печать 27. 03.2023.
Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 6,3 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №184.

Отпечатано из готовых файлов в типографии «DARKHAN».
Республика Казахстан, 000563,
г.Алматы, м-н Жетысу-3, дом 15.
[www. darkhan.kz](http://www.darkhan.kz)

Жангозин Канат Накошевич

*Кандидат физико-математических наук, доцент.
Ведущий научный сотрудник ТОО "НПЦ "Агроинженерии"*

Каргин Джумат Бейсембекович

*кандидат физико-математических наук, доцент.
Исследователь НАО "Евразийский Национальный
университет имени Л.Н. Гумилева"*