

ӘОЖ 541.183:66.095.26

СУСПЕНЗИЯЛЫҚ КОНЦЕНТРАТТАҒЫ БӨЛШЕК ӨЛШЕМДЕРІНІҢ ФИЗИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Мамбаева А.Ш., Қали Н.Н., Турсунмуратова Г.С., Жолдыхан Қ.Н.
Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Қазақстан, Алматы қ.,
Қазақстан

Ғылыми жетекшісі: аға оқытушы, PhD докторы Мамбаева А.Ш

Бұл мақалада суспензиялық концентраттардағы дисперстік фазаның бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақтылығына әсер ететін факторлар кешені жан-жақты талданады. Бөлшектердің өлшемі, пішіні, беткі заряды, олардың агрегацияға және седиментацияға бейімділігі, сондай-ақ дисперсиялық ортаның тұтқырлығы мен тұрақтандырғыш реагенттердің табиғаты жүйенің тұрақтылығын анықтайтын негізгі параметрлер ретінде қарастырылады. Флокуляция, коагуляция және агрегативтік тұрақсыздану механизмдері ғылыми негізде сипатталып, олардың алдын алу жолдары көрсетілген. Сонымен қатар суспензиялық концентраттардың тұрақтылығын арттыруда беттік-активті заттардың, диспергаторлардың және реологиялық модификаторлардың рөлі талқыланады. Бөлшек өлшемдерін анықтауда қолданылатын заманауи әдістер — лазерлік дифракция, динамикалық жарық шашырауы, электрондық микроскопия және седиментациялық талдау мүмкіндіктері салыстырмалы түрде қарастырылған. Жұмыс нәтижелері суспензиялық концентраттардың ұзақ мерзімді физикалық тұрақтылығын қамтамасыз етуге қажетті технологиялық шешімдер мен формуляциялық параметрлерді оңтайландыруға бағытталған ғылыми негіз қалыптастырады.

Кілт сөздер: Бөлшек өлшемі, физикалық тұрақтылық, дисперстік жүйе, агрегаттау, флокуляция, коагуляция, тұрақтандырғыш.

Суспензиялық концентраттар – әртүрлі технологиялық, химиялық және биологиялық процестерде кеңінен қолданылатын екі фазалы дисперстік жүйелердің бірі. Олар қатты фазаның сұйық ортада белгілі бір уақыт аралығында біркелкі таралуымен сипатталады. Мұндай жүйелердің тиімділігі көбінесе бөлшек өлшемдерінің тұрақтылығына, бөлшектердің агрегацияға және тұнбалануға қарсы тұру қабілетіне тікелей байланысты. Сондықтан суспензиялық концентраттағы бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақтылығын зерттеу – дисперстік жүйелер химиясы мен коллоидтық ғылымның маңызды бағыттарының бірі.

1. Суспензиялық концентраттардың физика-химиялық табиғаты

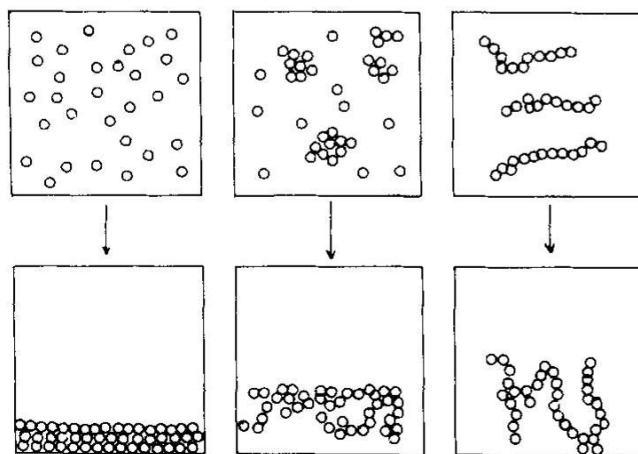
Физикалық тұрақтылық ұғымы суспензияның уақыт өте келе өзінің құрылымын, бөлшек өлшемдерінің таралуын және коллоидтық күйін сақтау қабілетін білдіреді. Бұл параметр суспензияның технологиялық қолданылуына ғана емес, оның сақтау мерзіміне, тасымалдауға төзімділігіне, функционалдық қасиеттеріне әсер етеді. Суспензиялық концентраттар тұрақсыздығы көбіне бөлшектердің іріленуі, агрегациясы, коагуляциясы, флокуляциясы немесе тұнбалануы нәтижесінде байқалады. 1-Суретте, осы құбылыстардың физикалық табиғатын түсіну суспензиялардың рецептурасын жетілдіру, дисперсиялау әдістерін оңтайландыру және тұрақтандыру стратегияларын әзірлеу үшін аса маңызды. [1]

Суспензиялық концентраттар – лиофобты коллоидтық жүйелерге жатады. Мұндай жүйелерде қатты бөлшектердің дисперсиялық ортаға жақындығы әлсіз, сондықтан олар термодинамикалық тұрғыдан тұрақсыз болып келеді. Бөлшектердің беттік энергиясы жоғары болғандықтан, олар өзара жақындағанда агрегация құбылысы орын алады. Бұл құбылыс дисперстік жүйенің жалпы беттік энергиясын азайту бағытында жүреді.

Суспензиялық концентраттың тұрақтылығы бөлшектердің өлшеміне, пішініне, тығыздығына, беткі зарядына, ортаның тұтқырлығына, дисперсиялық фазаның көлемдік үлесіне, сондай-ақ сыртқы факторларға – температура, механикалық әсер, ультрадыбыс, жарық, уақыт – тәуелді.

Суспензиялық концентраттың маңызды сипаттамаларына мыналар жатады: Дисперсия дәрежесі – бөлшек өлшемдерінің орташа мәні (әдетте 0,1–10 мкм диапазоны).

Полидисперстілік – бөлшек өлшемдерінің таралу кеңдігі. Зета-потенциал – бөлшек бетінің электр заряды мен тұрақтандыру қабілетін анықтайтын көрсеткіш. Тұрақтандырғыш реагенттер (ПАВ, полимерлер) – бөлшектердің агрегациясын тежейтін қосылыстар. [2]



1-сурет. Суспензия концентраттарының физикалық тұрақтылығы, әсіресе фармацевтикалық және пестицидтік құрамдарға қатысты.

2. Бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақсыздығы және оның себептері

Суспензиядағы бөлшектердің өлшемі уақыт өте өзгеруі бірнеше негізгі механизмдер арқылы жүреді:

Агрегация және коагуляция бөлшектердің бір-біріне жақындап, бірігуі – суспензия тұрақсыздығының негізгі механизмдерінің бірі. Бұл құбылыстың қозғаушы күші – дисперсияланған бөлшектердің беттік энергиясының азаюы.

Агрегацияға әсер ететін факторлар: бөлшектердің зета-потенциалының төмен болуы;

ЭВТ (DLVO) теориясымен түсіндірілетін Ван-дер-Ваальс тартылыс күштерінің басымдығы; электролит концентрациясының артуы; ортаның рН өзгеруі; жоғары температура. [3]

Агрегаттар ірі дисперстік бөлшектерге айналып, тұнба түзу процесін жылдамдатады. Флокуляция – агрегацияның жұмсақ түрі, яғни әлсіз байланысқан, үгітілгіш құрылымдардың түзілуі. Флокулалар тұрақты емес және механикалық әсерлерде ыдырауы мүмкін.

Оствальд пісуі дисперстік бөлшектердің өлшеміне байланысты ерігіштіктерінің айырмашылығынан туындайды. Майда бөлшектер жоғары ерігіштікке ие, сондықтан олар біртіндеп ериді де, олардың молекулалары ірі бөлшектердің бетіне жиналады, нәтижесінде ірілену жүреді. Оствальд пісуі температура жоғарылағанда айрықша жылдам жүреді.

Тұнбалану және седиментация бөлшектердің сұйық ортада төмен қарай түсуі Стокс заңы бойынша анықталатын ауырлық күшіне байланысты. Седиментация жылдамдығына әсер ететін параметрлер: бөлшек өлшемі (ірі бөлшектер тез шөгеді); тығыздық айырмасы; ортаның тұтқырлығы;

бөлшек концентрациясы. [4]

3. Бөлшек өлшемдерінің тұрақтылығын анықтау әдістері

Суспензиялық концентраттардағы бөлшек өлшемдерінің тұрақтылығын бағалау дисперстік жүйелердің физикалық тұрақтылығын зерттеудің негізгі құрамдас бөлігі болып табылады. Бөлшектердің өлшемдері мен олардың уақыт бойынша өзгеруі суспензияның агрегацияға, флокуляцияға немесе седиментацияға бейімділігін көрсетеді. 2-Суретте, заманауи технологиялық және ғылыми зерттеулерде бұл мақсатқа арналған бірнеше негізгі аналитикалық және физикалық әдістер қолданылады.

3.1. Динамикалық жарық шашырауы (Dynamic Light Scattering, DLS) Динамикалық жарық шашырауы әдісі Броундық қозғалыс жылдамдығына негізделген. Бөлшектердің қозғалысы жарықтың шашырауына әсер етіп, лазер арқылы өлшенеді. Алынған деректерден бөлшектердің орташа гидродинамикалық өлшемдері анықталады.

Артықшылықтары: Нанометр диапазонындағы бөлшектерді өлшеуге мүмкіндік береді. Жоғары дәлдік пен сезімталдық. Полидисперстік жүйелерде орташа бөлшек өлшемін анықтай алады. [5]

Кемшіліктері:

Көп мөлшерде үлкен бөлшектер бар болса, өлшеу нәтижесі қателіктерге ұшырайды.

Концентрациясы өте жоғары суспензияларда үлгіні сұйылту қажет, бұл нақты жағдайдан ауытқуға әкелуі мүмкін.

3.2. Лазерлік дифракция (Laser Diffraction) Лазерлік дифракция әдісі бөлшектердің жарықты шашыру қасиетіне сүйенеді. Жарық бөлшектер арқылы өтіп, әртүрлі бұрыштарға шашырайды. Шашыраған сәулелердің бұрыштық үлесін талдау арқылы бөлшектердің өлшемдерін анықтауға болады.

Артықшылықтары: Ірі және ұсақ бөлшектерді бір уақытта өлшеу мүмкіндігі. Полидисперстік жүйелерге арналған тиімді әдіс. Өндірістік сапаны бақылауда жиі қолданылады.

Кемшіліктері:

Бөлшектердің пішіні идеалды сфера деп қабылданады, бұл нақты бөлшектер үшін кейде қателік тудырады. Өте майда бөлшектердің үлесін дұрыс есептеуде шектеулері бар.

3.3. Оптикалық микроскопия қарапайым және салыстырмалы түрде арзан әдіс. Бөлшектердің пішіні мен өлшемін визуалды бағалауға мүмкіндік береді. **Шектеулері:** нанобөлшектерді дәл өлшеу мүмкін емес. Электрондық микроскопия (Трансмиссиондық және Сканирлеуші) Трансмиссиондық электрондық микроскопия (ТЕМ): ультрашұғыш өлшемдегі бөлшектерді көруге мүмкіндік береді. Сканирлеуші электрондық микроскопия (SEM): бөлшектердің беттік морфологиясын талдау үшін қолданылады.

Артықшылықтары: өте жоғары шешімдік, бөлшек пішінін нақты көру.

Кемшіліктері:

қымбат жабдық, үлгіні дайындау процесі күрделі.

3.4. Зета-потенциалды өлшеу (Zeta Potential). Зета-потенциал бөлшектердің беткі электр зарядын өлшейді, бұл олардың коллоидтық тұрақтылығын бағалауға мүмкіндік береді. Әдетте электрофоретикалық әдіс қолданылады. [6]

Маңызы: Бөлшектердің бір-біріне тартылуы немесе тебілуін анықтау.

Тұрақтандырғыш заттардың тиімділігін бағалау. Бағалау шкаласы:

1. 0–15 мВ тұрақсыз суспензия
2. 15–30 мВ орташа тұрақтылық
3. 30–60 мВ жоғары тұрақтылық
4. >60 мВ өте тұрақты



2- сурет. Бөлшек өлшемдерінің тұрақтылығын анықтау әдістері [7]

4. Бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақтылығын арттыру стратегиялары

Кесте-1 де, тұрақтандырғыш заттар (ПАВ және полимерлер) ПАВ молекулалары бөлшектердің бетіне адсорбцияланып, олардың агрегацияға қарсы тұруын қамтамасыз етеді. Механизмдері: электростатикалық тұрақтандыру заряд береді; стерикалық тұрақтандыру полимерлік қабықша түзеді; электростерикалық . [8]

Дисперсиялау технологиясын жетілдіру ультрадыбыстық диспергирлеу; жоғары қысымды гомогенизация; индукциялық араластыру; шарлы диірмендер. Бұл әдістер бөлшек өлшемін кішірейтіп, олардың біркелкі таралуын жақсарттады. Тұтқырлықты арттыру Ортаның тұтқырлығы артқан сайын Броундық қозғалыс баяулайды және бөлшектердің бірігу ықтималдығы төмендейді. рН және иондық күшті реттеу. Оптималды рН мәнін ұстау зета-потенциалды тұрақтандырады. Температураны тұрақты сақтау. Температураның өзгеруі ерігіштікке әсер етіп, Оствальд пісуін жылдамдатады; сондықтан сақтау режимінің маңызы жоғары.

1-кесте. Бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақтылығын арттыру стратегиялары [9]

№	Стратегия атауы	Қолданылатын әдістер	Механизм /Қалай әсер етеді	Артықшылықтары	Шектеулері/ Ескертулері	Қолдану салалары	Мысалдар
---	-----------------	----------------------	----------------------------	----------------	-------------------------	------------------	----------

1	Полимерлік стабилизация	Полиакриламид, КМЦ қосу	Бөлшектердің физикалық кедергі арқылы бір-бірінен бөледі	Тұнба азаяды, суспензия ұзақ тұрақты	Кейбір полимерлер биологиялық белсенділікті төмендетуі мүмкін	Пестицидтер, дәрі-дәрмектер	Пестицидтік суспензияларда СМС қолдану
2	Иондық/Электростатикалық тұрақтандыру	Зетта-потенциал арттыру, электролит қосу	Бөлшектер бір-біріне тебу арқылы агрегациядан қорғалады	Бөлшектер біркелкі таралады	Тұздардың концентрациясына сезімтал	Химиялық концентраттар, суспензиялық бояулар	Металдық оксидтердің суспензиясы
3	Механикалық дисперсия	Ультразвукты өңдеу, миксинг, гомогенизация	Бөлшектердің біркелкі бөледі, агрегацияны азайтады	Тұрақтылықты тез жақсартады	Энергия шығыны жоғары, кейде бөлшек құрылымына зақым келуі мүмкін	Фармацевтика, косметика	Липидтік суспензияларды дисперсиялау
4	Температураны бақылау	Суспензияның салқын сақтау, жылуды азайту	Бөлшектердің қозғалысы баяулайды, агрегация азаяды	Тұнба formation төмендейді	Тұрақты температура қажет, кейде қымбат жабдық	Биологиялық суспензиялар	Энзимдік суспензиялар
5	pH-ты реттеу	Оптималды pH орнату	Иондық зарядты өзгерту арқылы тұрақтылықты арттырады	Бөлшектердің бір-біріне жабыспауы	Белгілі бір pH диапазонына тәуелді	Лабораториялық және өндірістік суспензиялар	Металл оксидтері, ферменттер
6	Суспензияны ультрафилтрация немесе центрифугалау	Центрифугалау, мембраналық филтрация	Агрегацияланған бөлшектердің бөліп алады	Суспензиядағы біркелкі бөлшектер саны артады	Құрал-жабдық қажет, кейде уақыт шығыны көп	Фармацевтика, химия	Липидтік нанокапсулалар

7	Сурфактанттар қолдану	ПАВ қосу (Tween, SDS)	Бөлшектерді бетінен қаптап, бір-бірінен бөледі	Тұтқырлықты азайтады, тұрақтылықты арттырады	Құрамында кейде биологиялық әсер болуы мүмкін	Косметика, фармацевтика	Лосьондар, суспензиялық дәрілер
8	Құрғақтау/спрей кептіру	Spray-drying, freeze-drying	Бөлшектерді кептіріп, кейін қайта суспензиялау	Ұзақ мерзімді сақтау	Қайта суспензиялау қиын болуы мүмкін	Фармацевтика, тағам индустриясы	Энзимдік немесе витаминдік суспензиялар

5. Суспензиялық концентраттардың қолдану салаларындағы тұрақтылықтың маңызы

Суспензиялық концентраттар – бөлшектер сұйық ортада біркелкі таралған жүйелер болып, әртүрлі өнеркәсіп салаларында кеңінен қолданылады. Олардың физикалық тұрақтылығы, яғни бөлшектердің агрегаттануы мен тұнба түзілуіне қарсы тұру қабілеті, өнімнің сапасы, тиімділігі және сақтау мерзімін ұзарту үшін шешуші рөл атқарады.

Фармацевтика саласында препараттар құрамындағы белсенді ингредиенттердің біркелкі дозалануы үшін тұрақтылық аса маңызды. Егер суспензия тұрақсыз болса, белсенді зат шоғырланады немесе тұнбаға түсіп, терапевтік әсері төмендеуі мүмкін. Мысалы, антибиотикалық суспензиялық препараттардағы бөлшектердің біркелкі таралмауы емдік тиімділіктің төмендеуіне әкелуі мүмкін, бұл пациенттің дұрыс емделуін қамтамасыз етпейді. Сонымен қатар, тұрақты суспензияның ұзақ сақтау мерзімі фармацевтикалық өндіріс процесінде логистикалық және экономикалық тиімділікті арттырады.

Ауыл шаруашылығы мен химиялық өндірісте СҚ пестицидтер мен тыңайтқыштар ретінде қолданылады. Бұл жүйелердің тұрақтылығы өнімнің біркелкі шашылуын қамтамасыз етеді және сақтау кезінде қасиеттерінің өзгеруін азайтады. Мысалы, суспензиялық пестицидтердегі бөлшектердің тұнба түзілуі немесе агрегаттануы өнімнің тиімділігін төмендетіп, егінге қажетті белсенді заттың жеткіліксіз түсуіне әкелуі мүмкін. Суспензияның тұрақтылығы химиялық және физикалық қасиеттерді сақтау арқылы қолдану кезінде сенімділікті арттырады.

Косметикалық және тағам өнеркәсібінде суспензиялық концентраттардың тұрақтылығы текстура мен визуалды көріністі сақтау үшін маңызды. Мысалы, суспензиялық бояулардағы немесе суспензиялық сусындардағы бөлшектердің біркелкі таралуы тұтынушы қабылдауына тікелей әсер етеді. Егер бөлшектер

шоғырланып, тұнба түзілсе, өнімнің сапасы төмендейді, тұтынушы сенімі азаяды. Сондай-ақ, тұрақты суспензиялық жүйелер өнімнің микробиологиялық қауіпсіздігін қамтамасыз етуге көмектеседі, себебі біркелкі емес бөлшектерде микроорганизмдердің дамуына қолайлы орта пайда болуы мүмкін.

Өнеркәсіптік өндірісте суспензиялық концентраттардың тұрақтылығы экономикалық тиімділікті арттыруға да септігін тигізеді. Тұрақты суспензияларды ұзақ уақыт сақтау мүмкіндігі өндіріс циклы мен жеткізу процесінде шығындарды азайтады. Сонымен қатар, тұрақтылықты арттыру әдістерін қолдану – өнім сапасын, тиімділігін және қауіпсіздігін сақтау үшін маңызды техникалық шешімдердің бірі болып табылады.

Осылайша, суспензиялық концентраттардың физикалық тұрақтылығы тек ғылыми қызығушылық тудырып қана қоймай, өндірістік және тұтынушылық сапаны қамтамасыз етуде негізгі фактор болып табылады. Тұрақтылықты арттыру стратегиялары мен әдістерін қолдану өнімнің ұзақ мерзімді сапасын сақтауға, қолдану тиімділігін арттыруға және экономикалық шығындарды азайтуға мүмкіндік береді. [10]

Қорытынды:

Суспензиялық концентраттағы бөлшек өлшемдерінің физикалық тұрақтылығы – дисперстік жүйелердің функционалдық қасиеттерін анықтайтын негізгі факторлардың бірі. Бөлшектердің өлшемдерінің уақыт өте өзгеруі агрегация, флокуляция, коагуляция, тұнбалану және Оствальд пісуі сияқты құбылыстармен түсіндіріледі. Тұрақтылықты арттыру үшін ПАВ, полимерлер, дисперсиялау әдістері, рН реттеу, тұтқырлықты өзгерту және сақтау режимін оңтайландыру қолданылады.

Ғылыми-техникалық прогресс барысында суспензиялық концентраттардың физикалық тұрақтылығын арттыруға бағытталған жаңа наностабилизаторлар, смарт-полимерлер, көпфункционалды дисперсиялық жүйелер жасалуда. Бұл бағыттың әрі қарай дамуы медицина, ауыл шаруашылығы, материалтану, химия және тағам өнеркәсібінде жаңа технологиялық шешімдер ұсынуға мүмкіндік береді.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. *Коллоидтық жүйелердің физика-химиялық негіздері* (ғылыми жинақ). ҚазҰУ Химия факультеті. (2021). Әл-Фараби атындағы ҚазҰУ баспасы. [1]
2. Жагифаров, А. М. (2019). *Дисперстік жүйелер мен наноматериалдардың физика-химиялық қасиеттері* (PhD диссертация). Satbayev University. [2]

3. КВТУ Вестник. (2020). *Полимерлік тұрақтандырғыштар мен дисперстік жүйелердің тұрақтылығы* (Ғылыми журнал, №2). Алматы: ҚБТУ. https://kbtu.edu.kz/images/vesnik_2_2020.pdf [3]
4. Luckham, P. F., & Rossi, S. (1989). *The physical stability of suspension concentrates with particular reference to agricultural formulations*. Pest Management Science, 25(1), 1–12. [4]
5. Tomas, R. (2018). *Sedimentation and aggregation kinetics in concentrated suspensions*. Colloids and Interface Science, 525, 112–123. [5]
6. Magasitz, E. (2012). *Effect of particle size distribution on the physical stability of concentrated suspensions*. Periodica Polytechnica Chemical Engineering, 56(2), 45–56. [6]
7. ЕАЭО. (2016). *Стандарттар: дисперстік жүйелердің тұрақтылығын зерттеу әдістері*. Евразиялық экономикалық комиссия құжаты. [7]
8. Гельфман, М. И., & Юстратов, В. П. (2017). *Коллоидная химия: Учебник для вузов*. Москва: Юрайт. [8]
9. Ершов, Ю. А. (2012). *Коллоидная химия. Физическая химия дисперсных систем*. Москва: Академкнига. [9]
10. Luckham, P. F., & Rossi, S. (1989). *The physical stability of suspension concentrates with particular reference to agricultural formulations*. Pest Management Science. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.2780250105>. [10]

ФИЗИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В СУСПЕНЗИОННЫХ КОНЦЕНТРАТАХ

Қали Н.Н., Турсунмуратова Г.О., Жолдыхан Қ.Н

Научный руководитель: Мамбаева А.Ш

В статье всесторонне рассматривается комплекс факторов, влияющих на физическую стабильность размеров частиц дисперсной фазы в суспензионных концентратах (СК). Показано, что размер, форма и поверхностный заряд частиц, их склонность к агрегации и седиментации, а также вязкость дисперсионной среды и природа стабилизирующих реагентов являются ключевыми параметрами стабильности системы. Подробно описаны механизмы флокуляции, коагуляции и агрегативной неустойчивости, а также представлены подходы к их предотвращению. Особое внимание уделено роли поверхностно-активных веществ, диспергаторов и реологических модификаторов в обеспечении стабильности СК. Рассмотрены современные методы анализа размеров частиц — лазерная дифракция, динамическое

рассеяние света, электронная микроскопия и седиментационный анализ. Результаты работы формируют научную основу для оптимизации технологических параметров и формуляционных решений, направленных на обеспечение длительной физической стабильности суспензионных концентратов.

Ключевые слова: Размер частиц, физическая стабильность, дисперсная система, агрегация, флокуляция, коагуляция, стабилизатор.

PHYSICAL STABILITY OF PARTICLE SIZES IN SUSPENSION CONCENTRATES

Qali N.N., Tursunmuratova G.O., Zholdykhan K.N.

Scientific Supervisor: Mambayeva A.Sh

This article provides a comprehensive analysis of the key factors influencing the physical stability of particle size in suspension concentrates (SC). Particle size, shape, surface charge, tendency toward aggregation and sedimentation, as well as the viscosity of the dispersion medium and the nature of stabilizing additives, are identified as critical parameters governing system stability. The mechanisms of flocculation, coagulation, and aggregate destabilization are described on a scientific basis, and strategies for their prevention are discussed. The study also evaluates the role of surfactants, dispersants, and rheology modifiers in enhancing the stability of suspension concentrates. Modern analytical techniques for particle-size determination—including laser diffraction, dynamic light scattering, electron microscopy, and sedimentation analysis—are comparatively reviewed. The findings provide a scientific foundation for optimizing formulation parameters and technological conditions to ensure the long-term physical stability of suspension concentrates.

Keywords: Particle size, physical stability, dispersed system, aggregation, flocculation, coagulation, stabilizer.

REFERENCES

1. Physicochemical Fundamentals of Colloidal Systems (Scientific collection). Faculty of Chemistry, Al-Farabi Kazakh National University. (2021). Al-Farabi Kazakh National University Publishing House.

2. Zhagifarov, A. M. (2019). Physicochemical Properties of Dispersed Systems and Nanomaterials (PhD dissertation). Satbayev University.
3. KBTU Bulletin. (2020). Polymer Stabilizers and Stability of Dispersed Systems (Scientific journal, No. 2). Almaty: Kazakh-British Technical University. https://kbtu.edu.kz/images/vesnik_2_2020.pdf
4. Luckham, P. F., & Rossi, S. (1989). The physical stability of suspension concentrates with particular reference to agricultural formulations. *Pest Management Science*, 25(1), 1–12.
5. Tomas, R. (2018). Sedimentation and aggregation kinetics in concentrated suspensions. *Colloids and Interface Science*, 525, 112–123.
6. Magasitz, E. (2012). Effect of particle size distribution on the physical stability of concentrated suspensions. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 56(2), 45–56.
7. Eurasian Economic Union (EAEU). (2016). Standards: Methods for Studying the Stability of Dispersed Systems. Eurasian Economic Commission document.
8. Gelfman, M. I., & Yustratov, V. P. (2017). *Colloid Chemistry: Textbook for Universities*. Moscow: Yurait.
9. Ershov, Yu. A. (2012). *Colloid Chemistry. Physical Chemistry of Dispersed Systems*. Moscow: Akademkniga.
10. Luckham, P. F., & Rossi, S. (1989). The physical stability of suspension concentrates with particular reference to agricultural formulations. *Pest Management Science*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ps.2780250105>