

УДК 665.347.8.002.51/.52

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГІДРАТАЦІЇ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ

В.П. Гальцев канд.техн.наук., **П.І. Стоцький** інж.

Одеський державний аграрний університет

Приведені результати теоретичного обґрунтування процесу створення коагуляції, яка здійснюється гідродинамічним коагулятором. За результатами досліджень одержано загальне і часткове рішення рівнянь для визначення параметрів і технічних характеристик гідродинамічного коагулятора і дозатора – змішувача ежекторного типу.

Ключові слова: коагуляція, коагулятор, фосфатиди, олія, кавітаційна область, турбулентність.

Вступ. У агропромисловому комплексі України функціонує більше 3000 міні-цехів і агропідприємств невеликої потужності з виробництва рослинної олії, як правило, ще не повністю оснащених ефективним устаткуванням для отримання високоякісного продукту. На жаль, вітчизняна промисловість дотепер ще не освоїла серійний випуск малогабаритного устаткування для міні-цехів по виробництву соняшникової олії. Устаткування ж зарубіжного виробництва для цих цілей досить дороге.

Проблема. Отже, виникла проблема створення і упровадження устаткування для отримання якісних сортів олії, в першу чергу, машин і апаратів для витяжки фосфатидів і комплексного очищення олії від різного роду домішок і інших несприятливих речовин, одночасно із дотриманням вимог екології до харчових продуктів і підвищення енергетичної ефективності виробничих процесів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Процес гідратації соняшникової олії розділяється на два етапи: а) насичення олії водою, б) коагуляція фосфатидів, воску і інших гідрофільних домішок. Насичення олії водою може відбуватися в дозаторі ежекторного типу і остаточно цей процес формується в зоні 1 коагулятора (рис.1). Коагуляція здійснюється коагулятором в зоні 2. Розмір цих зон залежить від режиму роботи коагулятора, який відноситься до групи гідродинамічних випромінювачів. Робочим елементом служить сопло 1 і відбивач 2 (див.рис.2) . Між торцями конусно – циліндрового сопла і відбивачем, що має виїмку спеціальної форми, формується пульсуюча кавітаційна область [1,2], яка є локалізованою вихровою парогазовою каверною у вигляді тора. При певних геометричних розмірах сопла і відбивача спостерігається періодичне різке

хлопання в цій вихровій області, що породжує інтенсивну турбулізацію навколишнього середовища з супутніми імпульсами тиску. Частотний спектр виникаючих турбулентних пульсацій швидкості лежить в інтервалі $0,4-40\text{кГц}$ і залежить від середньої швидкості перебігу рідини в циліндровому каналі сопла, а також від відстані між торцем сопла і відбивача. Схема робочого елементу коагулятора представлена на рис.2.

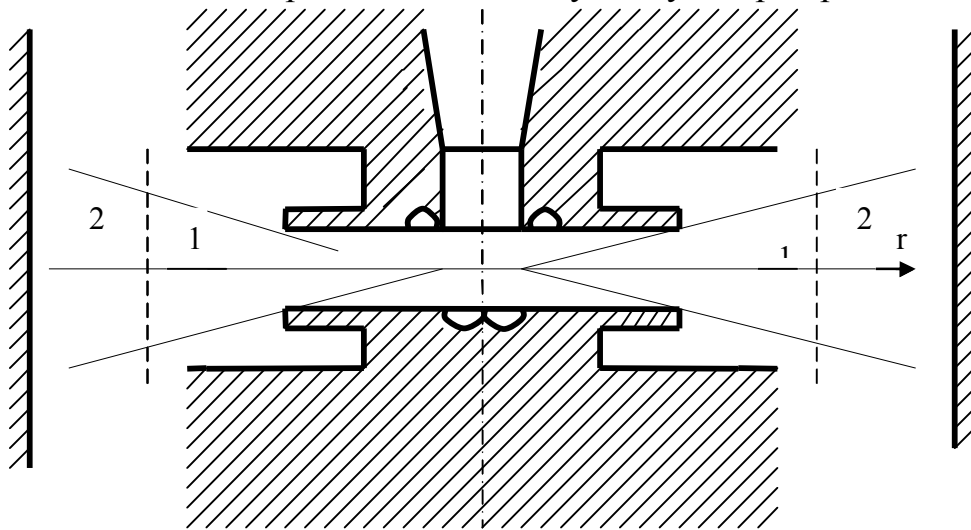


Рис.1. Робочі зони коагулятора.

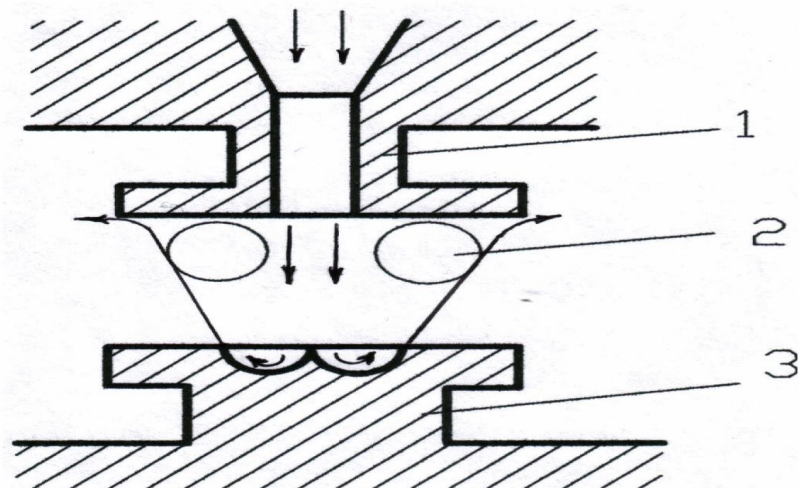


Рис. 2. Схема робочого елементу коагулятора: 1 – сопло; 2 – відбивач; 3 – кавітаційна область.

Мета досліджень. До теперішнього часу рівень вивчення отримань емульсій і процес коагуляції не достатній для вирішення таких задач з належною точністю. Задача ще ускладнюється і тим, що процес коагуляції залежить від деяких фізичних і хімічних параметрів початкового продукту, які можуть змінюватись в широких межах. Не спрощує задачу і той факт, що енергія, яка

потрібна для проведення цих процесів, витрачається не тільки на розвиток міжфазної поверхні і коалесценції, а і на подолання внутрішнього тертя і приведення рідини в рух.

Результати досліджень. Розглянемо спочатку першу частину процесу, а саме отримання емульсії води в олії. Для здійснення елементарних актів диспергування рідин необхідно реалізувати в мікро об'ємах таку гідродинамічну обстановку, в результаті якої виникали б необхідні розтягуючі і зсувні напруги, що приводять до висвітлення і відриву крапель. Джерелом таких напруг в рідині може бути розвинена турбулентність і кавітація. При турбулентній течії рух частинок викликається, головним чином, великими первинними вихорами, які для свого існування відбирають енергію від усередненого руху рідини. Масштаб первинних вихорів, званий зовнішнім або основним, порівняний з масштабом потоку, а швидкість – із швидкістю течії; частота ж відповідних їм пульсацій швидкості порівняно невелика. При великих числах Рейнольдса (Re) рух цих найкрупніших вихорів виявляється нестійким і породжує дрібніші вихори і т. д., аж до найдрібніших вихорів, для яких $Re < 1$. Рух вже усередині таких (власне) турбулентних вихорів носить ламінарний характер і вже істотно залежить від молекулярної в'язкості; вся енергія, що передається уздовж ланцюжка вихорів, диспергується (переходить в кількість теплоти). На рух дрібномасштабних вихорів не надає орієнтуючу дію поступальної ходи потоку, всі напрями рівно імовірні, пульсації ізотропні. Вихори цього масштабу, званого внутрішнім масштабом або просто масштабом, рухаються як одне ціле, частота пульсацій постійна і рівна найвищому значенню.

Закономірності турбулентного руху в інтервалах середніх і високих частот допомагають зрозуміти дві гіпотези подібності А.Н. Колмогорова [3, 4]. Згідно першої з них всі статистичні характеристики високочастотної турбулентності повністю визначаються трьома величинами: густиною середовища ρ , її в'язкістю η і швидкістю дисипації турбулентної енергії ε , виражена співвідношенням

$$\varepsilon \approx \frac{U_m^3}{L}, \quad (1)$$

де U_m – середня швидкість течії рідини;

L – масштаб зовнішнього вихору.

Згідно другої гіпотези подібності, статистичні характеристики середньо частотної турбулентності, в першу чергу її неоднорідність, не залежать від в'язкості і густини середовища, а повністю визначаються величиною швидкості дисипації енергії ε , вираженої співвідношенням

$$(\Delta U_{ii})^2 \approx (\varepsilon \Delta \chi)^{2/3}, \quad (2)$$

де U_{ii} – різниця миттєвих швидкостей в двох точках потоку, розділених відстанню Δx , малим в порівнянні із зовнішнім масштабом турбулентності, але великим в порівнянні з внутрішнім масштабом турбулентності.

Відповідні характеристики турбулентності виходять шляхом використання теорії розмірностей [5]. Для внутрішнього масштабу турбулентності метод розмірностей дає:

$$\ell_{\lambda} = \left(\frac{\nu^3}{\varepsilon} \right)^{1/4}, \quad (3)$$

де ℓ_{λ} – внутрішній масштаб турбулентності;

ν – кінематична в'язкість.

У роботі [6] був одержаний вираз для внутрішнього масштабу турбулентності руху рідини, що знаходиться в зовнішньому знакозмінному полі:

$$\ell_{\lambda} = \frac{b^{3/4}}{\rho^{3/4} \varepsilon^{1/4}} = \left(\frac{b^3 L}{U_m^3 \rho_p^3} \right)^{1/4}, \quad (4)$$

де b – константа, що враховує крім в'язких втрат енергії також втрати, властиві середовищу, що коливається;

ρ_p – густина рідини.

Константу b часто називають акустичною в'язкістю. Вона може бути обчислена за формулою [87]:

$$b = \frac{4}{3} \eta + \phi \frac{\Omega - 1}{C_p + \eta'}, \quad (5)$$

де η і η' – зрушувана і об'ємна в'язкість;

$\Omega = \kappa / \rho^* + 1$, де $(\kappa / \rho^* -$ модуль об'ємної пружності рідини при атмосферному тиску, віднесений до її внутрішнього тиску);

C_p – теплоємність при постійному тиску;

ϕ – коефіцієнт теплопровідності.

У виразі (4), зроблена спроба врахувати вплив пульсацій сусідніх вихорів в ближньому полі.

Максимальна швидкість дрібномасштабних пульсацій при цьому визначається виразом [3]:

$$V_{\lambda} \approx \frac{1}{4} \left(\frac{\varepsilon}{\nu} \right)^{1/2} \cdot \ell_{\lambda} \approx \frac{1}{4} (\varepsilon \nu)^{1/4}, \quad (6)$$

а інтенсивність турбулентності співвідношенням:

$$I = \left(\frac{V_\lambda}{U} \right) = \frac{1}{4} \text{Re}^{1/4}, \quad (7)$$

де U – усереднена швидкість рідини уздовж потоку в даній точці.

Нижня межа частоти турбулентних пульсацій, що належить найбільш великомасштабним вихорам з масштабом L , визначається відношенням [3,4]:

$$W_0 \approx \frac{U_m}{L}, \quad (8)$$

а верхня межа частоти, властивий дрібномасштабним пульсаціям з масштабом ℓ_λ , співвідношенням

$$W_{\ell_\lambda} \approx \frac{V_\lambda}{\ell_\lambda} \approx \frac{1}{4} \left(\frac{\varepsilon}{\nu} \right)^{1/2} \quad (9)$$

Розподіл енергії за частотним спектром пульсацій рідини задається виразом:

$$E(W) \approx (U_m \cdot \varepsilon)^{2/3} W^{-5/3}, \quad (10)$$

причому $E(W)$ - енергія, укладена в частотному інтервалі dW .

Пульсації швидкості частинок рідини, а також переміщення рідких частинок з одного шару в інший (так зване перенесення молей) при турбулентному русі є причиною виникнення різниці динамічних натисків в межах масштабу турбулентності. Різниця динамічних натисків можна оцінити по виразу [7]:

$$\Delta P_i = \rho \left(\frac{\Delta U_{ti}^2}{2} \right), \quad (11)$$

де ΔP_i – різниця динамічних натисків.

Якщо різниця динамічних натисків в межах бульбашок дисперсної фази перевищує капілярний тиск, то бульбашка деформується і її поверхня при цьому збільшується. І якщо величина площі поверхні деформованої бульбашки виявляється більша, ніж сума площ поверхонь двох або більш бульбашок того ж сумарного об'єму, то існування одиначної бульбашки стає енергетично не вигідним і відбувається її диспергування. При

цьому кінетична енергія щодо руху окремих частин бульбашки і деформуючого її дисперсійного середовища повинна бути достатня для того, щоб компенсувати збільшення поверхонь енергії бульбашок, що утворилися.

У роботі [8] показано, що при надлишку енергії в 1 % вже відбувається розподіл бульбашок на дві нерівновеликі частини, відношення діаметрів яких складає приблизно 1 : 10. Реальне ж відношення діаметрів звичне більше, ніж 1 : 10.

Якщо рахувати початкову краплю сферичною, то капілярний тиск, обумовлений поверхневим натягом, може бути виражене як [8]:

$$P_{\kappa} = \frac{4\sigma_{12}}{d}, \quad (12)$$

де σ_{12} – міжфазний поверхневий натяг;

d – діаметр бульбашки.

З виразу (3.11) і (3.12) можна записати співвідношення для діаметру бульбашки, при якому вона ще зберігає свою цілісність, а саме $\Delta P_i \leq P_{\kappa}$, тобто:

$$d \leq \frac{8\sigma_{12}}{\rho \cdot \Delta U_{ii}^2} \quad (13)$$

Розміри бульбашок, що утворюються в турбулентному потоці, звичайно малі в порівнянні з характерним масштабом усередненої течії L . Це дозволяє використовувати гіпотези подібності А.Н. Колмогорова для аналізу диспергування бульбашок в турбулентному потоці. Рівняння (3.8) і (3.9) визначають межу інтервалу масштабу пульсацій, який задають можливі розміри бульбашок, що утворюються в турбулентному потоці. Із співвідношень (3.2) і (3.13), складається рівняння, за допомогою якого можна визначити діаметр найбільших стійких бульбашок [3, 4, 5, 6]:

$$d \approx \frac{8\sigma_{12}}{\rho v^{1/2} \varepsilon^{1/2}} \quad (14)$$

У роботі [1] використовується інший вираз для діаметру найбільших бульбашок:

$$d \approx 3.5 \left(\frac{\sigma_{12}}{\rho} \right)^{3/5} \varepsilon^{2/5} \quad (15)$$

Формули (3.14) і (3.15) дають за розрахунками приблизно однакові результати. Різниця ж між набутими значеннями укладається в межі похибок, що дає можливість користуватися як однією, так і іншою формулою.

Як наголошувалося раніше, в робочому діапазоні тиску подачі рідини в коагуляцію при виході рідини з сопла виникає гідродинамічна кавітація, яка характеризується таким критерійним параметром, як число кавітації [90]:

$$x = \frac{P_1 - P_s}{\rho_p V^2}, \quad (16)$$

де P_1 і P_s – відповідно тиск подачі і тиск насиченої пари рідини;
 V – швидкість на виході з сопла.

Причому, у разі двофазних систем, число кавітації треба визначати для кожної рідини. Наведені в роботі [2] експериментальні результати пролинок, зокрема циліндрових і дифузорних діафрагм, показують, що кавітація настає при $x = 1.05 \pm 0.15$.

У зоні виходу рідини з сопла утворюється кавітація змішаного типу, що поєднує в собі кавітацію, яка приєднана у вигляді локалізованого вихору, і що рухається у вигляді парогазових пухирців. Причому, яка з них переважатиме, залежить від режиму течії і зовнішніх умов. При цьому у приєднаного вихору поверхня має малоамплітудні високочастотні збурення.

Парогазові пухирці кавітації зносяться вниз по потоку рідини і в зоні підвищеного тиску руйнуються.

І приєднана, і переміщена кавітація може брати участь в процесі диспергування бульбашок рідини. Але, більшою мірою, це відноситься до кавітації, котра переміщається, оскільки, при захопленні пупирів виникають місцеві сильні гідродинамічні збурення у вигляді імпульсів стиснення (мікроударних хвиль) і мікропотоків.

В одному з досліджуваних механізмів закриття кавітаційних пупирів відбувається з утворенням струменів рідини. Якщо така бульбашка знаходиться на межі розділяючої рідини, то частина однієї рідини, у вигляді струменя, що розпадається на бульбашки, проникає в іншу і тоді діаметри бульбашок, що утворюються, можна визначити за виразом [9]:

$$d = \left(\frac{d_a}{U_a} \right)^{2/3} \cdot \left(\frac{4.5\pi\sigma_{12}}{\rho_a + \rho_p} \right)^{1/3} \quad (17)$$

де d_a – діаметр струменя;
 U_a – швидкість струменя;

ρ_a і ρ_p – густина рідин.

Діаметр і швидкість струменя залежать від розмірів парогазових бульбашок, що утворилися в рідині. Розміри цих пузирів можуть мінятися в широких межах, залежно від режиму перебігу рідини і її початкового газовмісту, проте, на їх максимальні граничні розміри можна впливати тим же режимом перебігу рідини і зовнішнім статичним тиском. При створенні певних умов можна одержувати бульбашки дисперсної фази майже одного розміру.

Якщо розглянути систему «олія – вода», то для бульбашок, наприклад з розмірами проби $6,4 \cdot 10^{-4}$ матимемо діаметр і швидкість струменя відповідно $4 \cdot 10^{-5}$ м і 100 м/с, що дасть діаметр бульбашки $3,6$ мкм [9].

У роботі [10] було встановлено, що бульбашки стають більшими, якщо діаметр отвору сопла і в'язкість збільшуються. Це підтверджує той факт, що турбулентність і її масштаб істотно впливає на розміри бульбашок, що виходять. У цій же роботі була отримана залежність питомої поверхні бульбашок.

$$S_{yd} \approx (\Delta P_a)^{3/4} \sigma_{12}^{-5/6} \eta^{-1/6}, \quad (3.18)$$

де ΔP_a – зміна тиску при проходженні рідини через сопло.

На рис. 3 показаний розподіл бульбашок води за розмірами в залежності від перепаду тиску ΔP_p на соплі коагулятора [10].

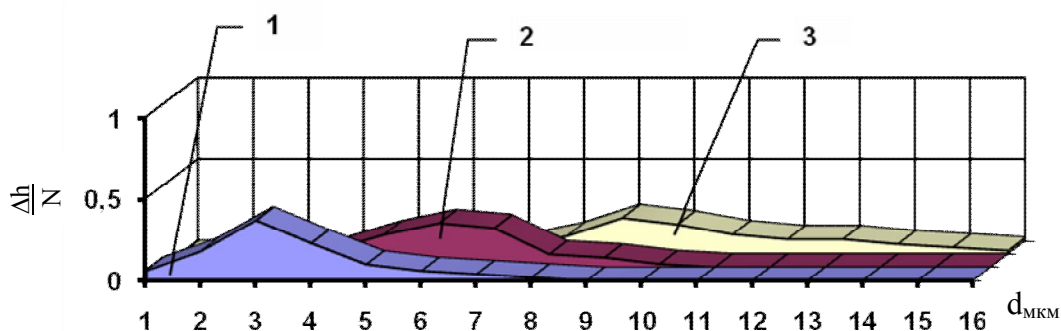


Рис.3. Розподіл бульбашок води за розмірами в залежності від перепаду тиску ΔP_p на соплі коагулятора: 1- $\Delta P_{p3} 3,5 \cdot 10^5$ Па; 2- $\Delta P_{p2} 2 \cdot 10^5$ Па; 3- $\Delta P_{p1} 1 \cdot 10^5$ Па.

Данні отримані методом мікроскопії. Таким чином, міняючи режим роботи змішувача і коагулятора, можна впливати на кількість і розміри бульбашок води в олії в достатньо широких межах, що надалі і визначає хід процесу коагуляції фосфатидів і воску, який відбувається в турбулентному потоці рідини на значному віддаленні від сопла коагулятора, в зоні вільного руху.

Оскільки, з практичної точки зору нас не цікавить закінчення перших порцій олії в робочій установці при її включенні (що звичайно складає декілька секунд в порівнянні з декількома годинами її безперервної роботи), і виходячи з симетрії потоку рідини, то розглядатися будуть тільки стаціонарні умови, тобто приймається, що усереднені характеристики процесу коагуляції в зоні вільного руху залежать тільки від відстані до сопла коагулятора і не залежать від часу.

Кількісна теорія кінетики коагуляції вперше була розглянута в роботі М. Смолуховського [11]. Він розглядав монодисперсні частинки сферичної форми, які зіштовхуються між собою в результаті броунівського руху. Критична відстань, на якій здійснюється взаємодія між частинками, прийнята, приблизно, сумі радіусів частинок, що відповідає безпосередньому їх контакту. Розглядалися тільки взаємодія між двома частинками, оскільки вірогідність одночасового зіткнення великого числа частинок дуже мала. Таким чином, розглядалися зіткнення частинок однакових, одиночних з подвійними, подвійних один з одним, потрійних з одиночними і т.д. Таке представлення процесу коагуляції дозволяє формально застосовувати до нього теорію бімолекулярних хімічних реакцій [11].

Висновки. Теоретично обгрунтовано процес створення коагулянту та його рух в водожирових суспензіях.

Теоретично обгрунтовані параметри і розроблена установка для гідратації рослинної олії із застосуванням гідродинамічного коагулятора і дозатора – змішувача ежекторного типу.

Одержані загальне і часткове рішення рівнянь для визначення технічних характеристик дозатора – змішувача і параметрів гідродинамічного коагулятора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д. Гидродинамика. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // – М.: Наука, 1986. – 736 с.
2. Кавитационные колебания и динамика двух фазных систем. // Научная мысль. – Киев, 1985. – С. 3-9.
3. Колмагоров А.Н. Локальная структура турбулентности. // Док. АИ. СССР. 1941. – Т.30. – № 4. – С. 299-303.
4. Колмагоров А.Н. Уравнение турбулентного движения. // Изв. АИ СССР. Отд. Мат. Наук. 1942. – Т.6. – № 1/2. – С. 56-58.
5. Гухман А.А. Вступление в теорию подобия. // – М.: Высшая школа, 1963. – 255с.
6. Медников Г.П. Акустика. // – 1966. – Т.12. – №4. – С. 466 – 473.
7. Tomas D.G. Turbulen + discturtion of flacks in smll particle size suspenfions – Aiche. – 1964. – 10, № 4 – P. 517-523.

8. Кремнев Л.С. Коллоидное движение. / Л.С. Кремнев, А.А. Гавдель // – 1954. – № 1. – С. 16 – 17.
9. Лысенко В.Ф. Авиационная техника. / В.Ф. Лысенко, П.М. Еремеев // 1970. – №2. – С. 118-123.
10. Кардашев Г.Л., Муслимов И.С., Салосин А.В. Труды акустического института. / Г.Л. Кардашев, И.С. Муслимов, А.В. Салосин // Вып.5. 1969. – С. 177-181.
11. Mc Donogh I.A. Tomme W.I. Носе С.Д. Am Inst. Сnem Eng. I. 615,1960.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОБОЧИХ ОРГАНОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГИДРАТАЦИИ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

В.П. Гальцев, П.И. Стоцкий

Ключевые слова: коагуляция, коагулятор, фосфатиды, масло, кавитационная область, турбулентность.

Резюме

Приведены результаты теоретического обоснования процесса образования коагуляции, которая происходит за счет действия гидродинамического коагулятора. За результатами исследований получено общее и частное решения уравнений для определения параметров и технических характеристик гидродинамического коагулятора и дозатора – смесителя эжекторного типа.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS ROBOCHIX OF BODIES OF INSTALLATION FOR SUNFLOWER-SEED OIL HYDRATION

V.P. Galtsev, P.I. Stotskij

Key words: coagulation, koagulator, phoshatides, oil, turbulence.

Summury

Results of a theoretical substantiation of process of formation of coagulation which occurs at the expense of action hydrodynamic coagulators are resulted. Behind results of researches it is received the general and private decisions of the equations for definition of parametres and technical characteristics hydrodynamic coagulators and the amalgamator type.