



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕЛЯ С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Шерматова Ирода Бахтиёр қизи

Ташкентский Фармацевтический институт

e-mail: fayzullayevamadina3@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6036728>

### ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Qabul qilindi: 15-dekabr 2021

Ma'qullandi: 15-yanvar 2022

Chop etildi: 5-fevral 2022

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

наночастицы серебра,  
гель, реология, вязкость,  
напряжение сдвига,  
предельная текучесть,  
механическая  
стабильность.

### АННОТАЦИЯ

*В представленной работе отражены результаты проведённых экспериментальных исследований, направленных на изучение основных реологических (структурно-механических) свойств лекарственной формы для наружного применения - геля на основе экстракта травы Шлемник Искандарии сухой с наночастицами серебра. С помощью современного измерительного оборудования - Реотест-2 (Германия) с использованием системы ячейки «цилиндр-цилиндр» S/S1 (константа ячейки  $z = 5,6$ ) при температурах 25°C, 40°C, 55°C определены напряжения сдвига, эффективность вязкости, предельная текучесть, тиксотропные свойства, а также значения механической стабильности при различных температурах. На основе полученных результатов построены реограммы в виде зависимости эффективной вязкости от градиента скорости при различных температурах. Было выявлено, что предлагаемый гель с наночастицами серебра обладает высокими тиксотропными свойствами, обеспечивающими восстановление структуры после приложенных напряжений.*

Противомикробные, защитные и восстанавливающие качества серебра были известны ещё до древних греков и Римской империи. Цивилизации по всему миру тысячелетиями пользовались серебром в качестве заживляющего и антибактериального агента. Задолго до формирования нынешней фармацевтики серебром пользовались в качестве бактерицида и

антибиотика. Во времена первой мировой войны для борьбы с инфекцией в длительно не заживающих ранах использовали листы серебра. В начале 1800-х гг. лекари применяли серебряные нити для зашивания хирургических ран с весьма удачными результатами. Незадолго до конца 1800-х гг. ученые Востока снова обнаружили то, что было общеизвестно тысячелетиями, то, что



серебро представляет собой сильное средство борьбы с бактериями. Были разработаны лечебные соединения серебра, и серебро стали в большинстве случаев использовать в роли лечебного средства. К 1940 году на рынке можно было найти приблизительно четыре дюжины разных соединений серебра, используемых для лечения всякого известного инфекционного заболевания [1-4].

Бактерицидные свойства металлического серебра связаны с его медленным окислением и высвобождением ионов  $Ag^+$  в окружающую среду, поэтому представляется перспективным использование препаратов наносеребра как особого класса биоцидных агентов. Серебро проявляет более эффективное воздействие при применении их в наноразмерах. Это происходит за счёт увеличения площади поверхности металлов к объёму, что обеспечивает максимальный контакт с окружающей средой. Говоря наночастицы, подразумеваются объекты размером в диапазоне от 1 до 100 нм. Наносеребро воздействует на микробную клетку путём поглощения его клеточной оболочки. В результате клетка продолжает жить, но при этом теряет его способность к делению [5-6].

В частности наночастицы серебра применяются в медицине для лечения и диагностики различных заболеваний: например, для лечения дерматитов инфекционного происхождения разработана мазь на основе наносеребра, для лечения анемий – капсулы наножелеза, нанодисперсный кремнезем (силикс) – для лечения отравлений, липофламин – для лечения инфаркта миокарда. Наносеребро

используется при различных патологических состояниях в связанная для ингибирования вирусов ВИЧ и герпеса, как антимикробный и антибактериальный компонент в композициях, в иммунохимических методах исследования и для изучения биологических эффектов [7,8].

Развитие современных нанотехнологий открывает широкие возможности и создает перспективную основу для создания эффективных лекарственных средств с наночастицами серебра, обладающих высокой антибактериальной, противогрибковой и ранозаживляющей активностью.

Среди разнообразных лекарственных форм для наружного применения: жидких экстрактов, мазей, кремов, порошков и гелей, выбор был остановлен на гелевой форме, так как он обладает рядом преимуществ перед прочими лекарственными формами. Так, гели на 70-80% включают в себя воду и загустителей, следовательно действующее вещество в нем, в отличие от мазей, обычно полностью растворяется в основе. За счет того, что гель совершенно не жирный, при необходимости смыть его с кожи не доставит больших трудностей. Гель по сравнению с мазью обладает кислотностью (уровень pH), приближенной к кислотности здоровой кожи, отчего считается более физиологичным средством [9]. К тому же, гель при нанесении не закупоривает поры благодаря своей упругой, пластичной, эластичной консистенции и легко, практически мгновенно распределяется по кожному покрову. Гелю присущи как подсушивающие, так и питающие кожу жидкостью свойства. Он обычно быстро образует тонкую



оболочку и хорошо держится на коже и слизистой. В отличие от геля, мазь впитывается заметно медленнее. Из-за того, что мазь содержит в себе жировую основу, она может быстрее прийти в негодность [10-11]. В настоящее время гель представляет собой удобную, востребованную, легко впитывающуюся, и не оставляющую за собой следа лекарственную форму. В связи с этим, мы остановили свой выбор на разработке наружной лекарственной формы в виде геля.

На этапах разработки, изучения стабильности и при выборе условий производства определение реологических характеристик являются важными параметрами оценки качества мягких лекарственных форм. Реология – один из разделов механики, основными объектами исследования которого являются деформация и текучесть легкодеформируемых материалов под воздействием внешней силы [12]. При этом результаты реологических исследований не входят в число обязательных фармакопейных требований. Для достоверной оценки реологических характеристик разрабатываемой вязко-пластичной лекарственной формы важен выбор температуры проведения эксперимента, учитывая условия производства, хранения, применения лекарственной формы, и диапазона сдвиговых напряжений, прилагаемых к системе в процессе производства, дозирования в упаковку и применения [13-14].

Реологические методы, основаны на генерирование продольных или сдвиговых течений жидкофазных систем и применяется для определения поведения, структурных и фазовых превращений жидкостей в потоке. В

зависимости от состава, формы и содержания элементов или составляющих компонентов жидкости проявляют различный характер течения. Если вязкость не изменяется по мере повышения скорости течения или напряжения сдвига потока, то такое течение система называется «ньютоновским» и жидкость называют «ньютоновской жидкостью». Если вязкость изменяется в зависимости от скорости течения или напряжения сдвига потока, то жидкость называется «неньютоновской жидкостью», течения «неньютоновским» Неньютоновское течение обуславливается деформационным изменением формы компонентов жидкости в потоке. Такое явление часто наблюдается в жидкостях, содержащихся в составе легко деформируемых компонентов, таких как полимерных макромолекул и т.п. [15-17].

**Целью данной работы** является определение эффективной вязкости геля с наночастицами серебра, основываясь на реологические исследования.

**Экспериментальная часть.** Качество мягких лекарственных форм, в частности гелевой формы определяется оптимальными значениями их эффективной вязкости. Данные структурно механические показатели анализируемых образцов геля изучали при помощи ротационного вискозиметра «Реотест-2» (Германия) с использованием системы ячейки «цилиндр-цилиндр» S/S1 (константа ячейки  $z = 5,6$ ) при температурах 25°C, 40°C, 55°C. Параметры используемых ячеек и положения режима работы при



определение константа ячеек  
приведены в таблице.

**Таблица 1. Параметры ячеек при положении режима работы**

Градиент скорости, $\gamma, c^{-1}$	Напряжение сдвига, t, Па	Эффективная вязкость, $\eta_{эфф.}, Па.с$	Напряжение сдвига, t, Па	Эффективная вязкость, $\eta_{эфф.}, Па.с$
	Образец №1		Образец №2	
3	28	16,44	56	18,67
5,4	44,8	10,37	67,0	12,44
9	56,0	7,47	78,4	8,71
16,2	67,2	5,53	100,6	6,22
27	78,4	4,36	128,6	4,77
48,6	106,4	3,23	168	3,46
81	145,6	2,63	240,8	2,97
145,8	207,2	1,99	319,2	2,19
243	330,4	1,57	420	1,73
437,4	386,4	1,22	515,1	1,18

Исследованию подвергались 2 образца геля:

1 -образец с составом без наночастиц серебра;

2- образец с составом: «Экстракт травы Шлемник Искандарии сухой с наночастицами серебра»

**Результаты и их обсуждение.**

Результаты исследований по

определению напряжения сдвига и эффективной вязкости в зависимости от скорости сдвига для анализируемых образцов геля при температурных режимах, равных 25<sup>0</sup>С, 40 <sup>0</sup>С, 55 <sup>0</sup>С представлены в таблицах 2, 3, 4.

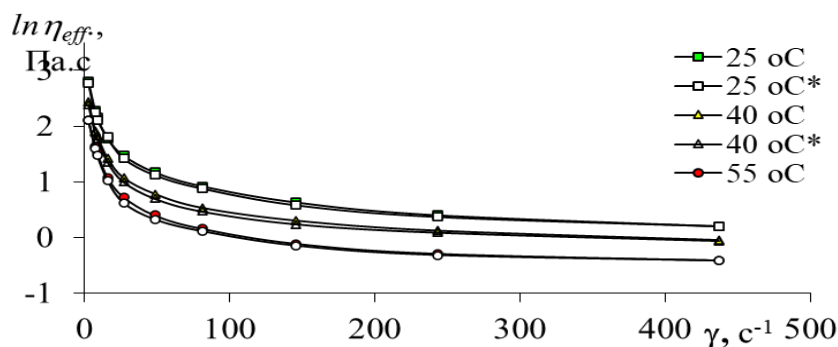
**Таблица 3. Предельное напряжение сдвига и эффективная вязкость для образцов геля (образец №1 -без наночастиц серебра, №2- с наночастицами серебра) t=40<sup>0</sup>С**



Градиент скорости, $\gamma$ , с <sup>-1</sup>	Напряжение сдвига, t, Па	Эффективная вязкость, $\eta_{эфф.}$ Па.с	Напряжени е сдвига, t, Па	Эффективная вязкость, $\eta_{эфф.}$ Па.с
	Образец №1		Образец №2	
3	22,4	8,25	33,4	11,3
5,4	28,0	5,19	39,2	7,26
9	33,6	3,73	56	6,22
16,2	44,8	2,77	67,2	4,15
27	56	2,07	72	2,69
48,6	67,2	1,38	89,6	1,84
81	95,2	1,18	112,2	1,38
145,8	134,4	0,92	140,4	0,96
243	179,2	0,78	184,2	0,76
437,4	263,2	0,62	280,2	0,62

Согласно полученным данным, увеличение предельного напряжения сдвига и уменьшения эффективной вязкости под воздействием возрастающих сил деформации, является подтверждением наличия структуры в исследуемых образцах геля.

На основе полученных результатов построены реограммы в виде зависимости эффективной вязкости ( $\eta_{эфф.}$ ) от градиента скорости ( $\gamma$ ) при различных температурах: 25 °С, 40 °С, 55 °С, представленных на рис. 1.

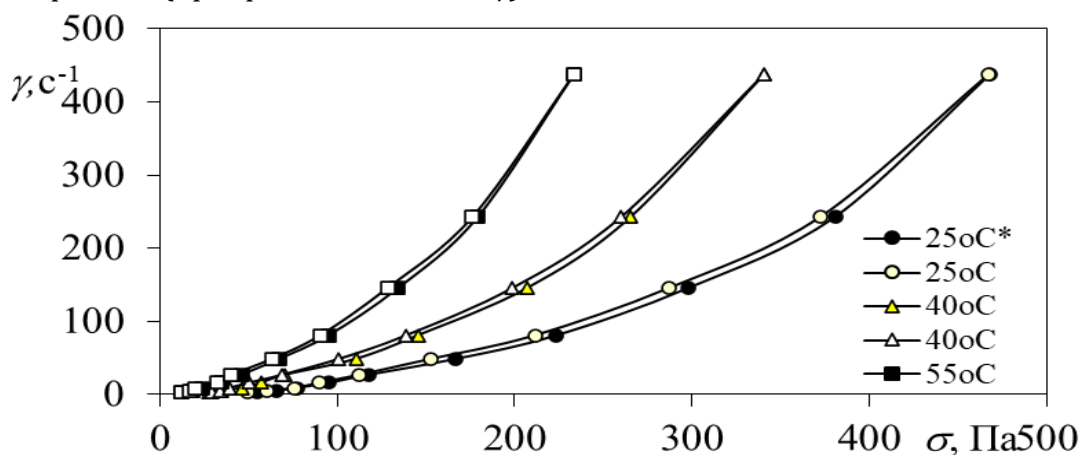


**Рисунок 1. Зависимость логарифма эффективной вязкости ( $\ln \eta_{eff}$ ) от градиента скорости ( $\gamma$ ) сдвигового течения для образца 1 при различных температурах**

Здесь 25°C, 40°C, 55°C при прямом измерении (при росте  $\gamma$ ), 25°C\*, 40°C\*, 55°C\* при обратном измерении (при снижении  $\gamma$ ). Видно, что во всех случаях с повышением воздействия сдвигового поля, т.е. с ростом градиента скорости наблюдается непрямолинейное снижение  $\ln \eta_{eff}$ , причем, происходит резкое снижение до достижения  $\gamma \rightarrow 40 \text{ c}^{-1}$ , далее умеренное медленное снижение  $\ln \eta_{eff}$  до  $\gamma \rightarrow 450 \text{ c}^{-1}$ . При этом наблюдается существенное влияние температуры на вязкость (т.е. текучесть) образца 1 и с ростом температуры реограммы смешаются в область малых значений  $\ln \eta_{eff}$  и больших значений  $\gamma$ .

Обнаружено, что кривые зависимости, т.е. реограммы заметно различаются по показателю эффективная вязкость  $\ln \eta_{eff}$  при прямом (при росте значения  $\gamma$ ) и

обратном измерении (при снижении значения  $\gamma$ ) его значений в сдвиговом поле. Это особенно ярко проявляется в интервале  $\gamma = 50 - 150 \text{ c}^{-1}$  в виде слабовыраженного гистерезисного эффекта в пределах ошибки измерения показателей. Это свидетельствует о возможном структурировании, заметном деформационно-упорядоченном структурообразовании составляющих образца 1 при воздействии сдвигового поля в выбранной области температуры. Для анализа наличия гистерезисного эффекта построили реограммы в виде зависимости градиента скорости ( $\gamma$ ) от напряжения сдвига ( $\tau$ ) для гели при различной температуры (рис. 2).





**Рисунок 2. Зависимость градиента скорости ( $g$ ) от напряжения сдвига ( $s$ ) для образца 1**

Видно, также яркое проявление гистерезисного эффекта при 25 °С, 40°С, 55°С, что подтверждает протекание структурного изменения в образце 1 в области градиента скорости 50 – 500 с<sup>-1</sup>. Видимо, происходит заметно резкое разрушение структуры образца 1 в этом области  $\gamma$  и температуры.

Из графика (рис.2) определяли величины предельного напряжения сдвига ( $t_{np}$ ) и напряжения предельной текучести ( $t_k$ ) и вычисляли значения механической стабильности  $MC = t_k / t_{np}$  при различных температурах ( $t$ , °С). (таб.5)

**Таблица 5. Определение значения механической стабильности при различных температурах**

$t, ^\circ C$	$t_{np}, Pa$	$t_k, Pa$	$MC$
25	64	125	1,95
40	39	69	1,77
55	24	40	1,67

Определены значения динамической вязкости ( $h$ ) из рис.4.1. путем проведения экстраполяции  $\gamma \rightarrow 0$  приняв, что  $lnh_{eff} \rightarrow ln h$ .

$ln h = 2,95$  Па.с.  $h = 19,11$  Па.с. при 25 °С,  
T = 298 К  $1/T = 3,3 \cdot 10^{-3}$  К

$ln h = 2,65$  Па.с.  $h = 14,15$  Па.с. при 40 °С,  
T = 313 К  $1/T = 3,19 \cdot 10^{-3}$  К

$ln h = 2,20$  Па.с.  $h = 9,03$  Па.с. при 55 °С,  
T = 328 К  $1/T = 3,05 \cdot 10^{-3}$  К

Построена зависимость  $ln h$ , Па.с от обратной температуры согласно формуле Френкеля-Эйринга  $ln \eta = ln A +$

$E_a/RT$  (рис.4), Здесь  $ln A$  –коэффициент,  $E_a$  – энергия активации вязкого течения;  $R = 8,31$  - универсальная газовая постоянная.

Из наклона кривых зависимости  $ln \eta - 1/T$  находили значения  $a = E_a/R$

$$a = E_a/R = (2,95 - 2,20)/(3,30 - 3,05) \cdot 10^{-3} = 3,0 \cdot 10^3$$

отсюда рассчитали значение энергии активации вязкого течения  $E_a$  равное:

$$E_a = aR = 3,0 \cdot 8,31 \cdot 10^3 = 24930 \text{ Дж/моль} = 24,93 \text{ кДж/моль}$$

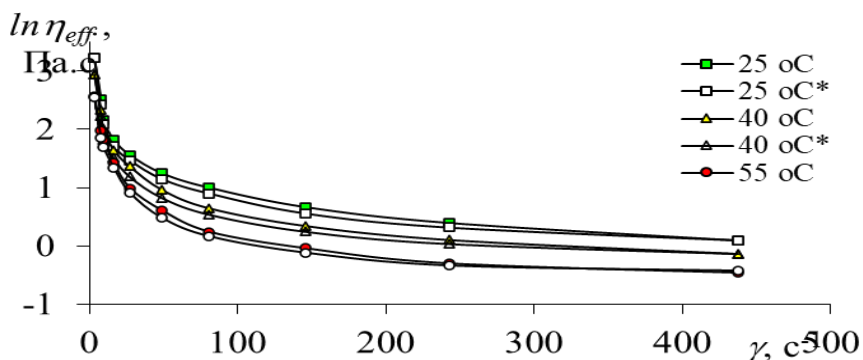


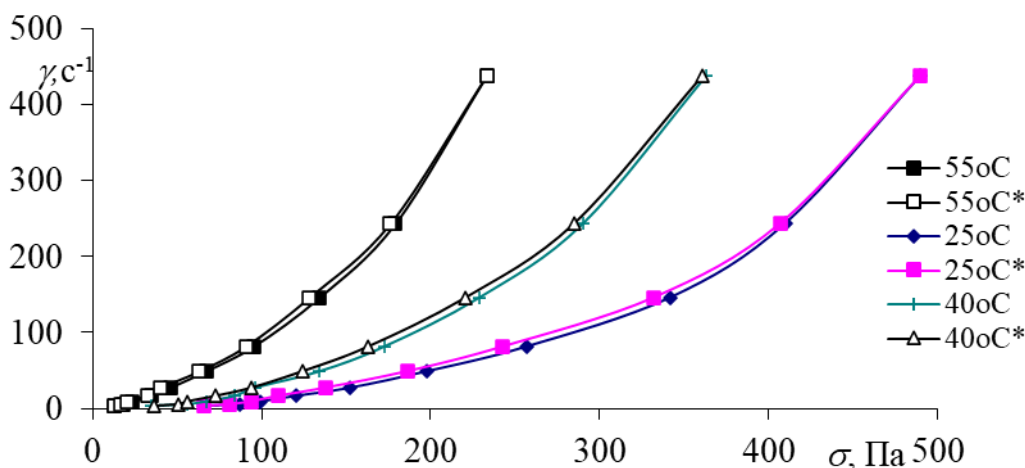
Рисунок 5. Зависимость логарифм эффективной вязкости ( $ln\eta_{eff}$ ) от градиента скорости ( $\gamma$ ) сдвигового течения для образца 2 при различных температурах

Здесь 25 °C, 40 °C, 55 °C при прямом измерении (при росте  $\gamma$ ), 25 °C\*, 40 °C\*, 55 °C\* при обратном измерении (при снижении  $\gamma$ ).

Видно, что во всех случаях с повышением воздействия сдвигового поля, т.е. с ростом градиента скорости наблюдается непрямолинейное снижение  $ln\eta_{eff}$ , причем, происходит заметно резкое снижение до достижения  $\gamma \rightarrow 50 \text{ c}^{-1}$ , далее умеренное медленное снижение  $ln\eta_{eff}$  до  $\gamma \rightarrow 500 \text{ c}^{-1}$ . При этом наблюдается существенное влияние температуры на вязкость (т.е. текучесть) образца 2 и с ростом температуры реограммы смешаются в область малых значений  $ln\eta_{eff}$  и больших значений  $\gamma$ .

Обнаружено, что кривые зависимости, т.е. реограммы заметно различаются по

показателем эффективная вязкость  $ln\eta_{eff}$  при прямом (при росте значения  $\gamma$ ) и обратном измерении (при снижении значения  $\gamma$ ) его значений в сдвиговом поле. Это особенно ярко проявляется в интервале  $\gamma = 50 - 350 \text{ c}^{-1}$  в виде слабовыраженного гистерезисного эффекта. Это свидетельствует о структурировании, заметном деформационно-упорядоченном структурообразовании составляющих образца 2 при воздействии сдвигового поля в выбранной области температуры. Для анализа наличия гистерезисного эффекта построили реограммы в виде зависимости градиента скорости ( $\gamma$ ) от напряжения сдвига ( $\tau$ ) для гели при различной температуры (рис.4).





**Рисунок 6. Зависимость градиента скорости ( $g$ ) от напряжения сдвига ( $s$ ) для образца 2**

По данному графику оценивали гистерезисные петли (реограммы течения), образуемые при прямом и обратном изменении градиента скорости в зависимости от напряжения сдвига. Наличие гистерезисных петель подтверждает тиксотропные свойства исследуемых образцов геля, а они в свою очередь обеспечат хорошую намазываемость и способность к выдавливанию из туб. Также по представленным данным можно утверждать, что в анализируемых образцах преобладают обратимые пиксотропные связи, которые способны восстанавливаться после разрушения системы.

Известно, что ширина петел гистерезиса служит относительной оценкой степени структурообразовательных процессов,

**Таблица 6. Определение значения механической стабильности при различных температурах**

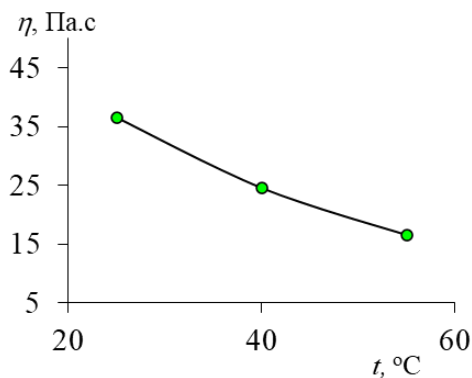
$t, ^\circ C$	$t_{np}, Pa$	$t_k, Pa$	$MC$
25	70	130	1,85
40	46	80	1,73
55	22	35	1,60

Определены значения динамической вязкости ( $h$ ) из рис.4.7 путем проведения экстраполяции  $\gamma \rightarrow 0$  приняв, что  $lnh_{eff} \rightarrow ln h$ .

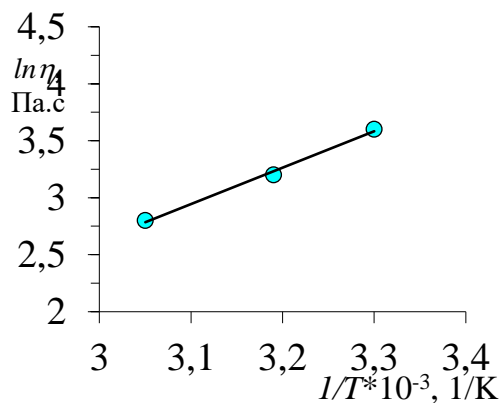
что влечет за собой повышение стабильности анализируемого геля.

Видно, также яркое проявление гистерезисного эффекта при 25 °С, 40 °С, 55°С, что подтверждает протекании структурного изменения в образце 2 в области градиента скорости 100 – 500 с<sup>-1</sup>. Видимо, происходит заметно резкое разрушение структуры образца 2 в этом области  $\gamma$  и температуры.

Из графика (рис.6) определяли величины предельного напряжения сдвига ( $t_{np}$ ) и напряжения предельной текучести ( $t_k$ ) и вычисляли значения механической стабильности  $MC = t_k / t_{np}$  при различных температурах ( $t, ^\circ C$ ) (таб.6).



**Рисунок 7.** Зависимость динамической вязкости ( $\eta$ ) от температуры ( $t$ ) для образца 2.



**Рисунок 8.** Зависимость логарифм динамической вязкости ( $\ln \eta$ ) от обратной температуры ( $1/T$ ) для образца 2.

$\ln \eta = 3,60$  Па.с.  $\eta = 36,59$  Па.с. при  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $T = 298\text{ K}$   $1/T = 3,3 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$

$\ln \eta = 3,20$  Па.с.  $\eta = 24,53$  Па.с. при  $40\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $T = 313\text{ K}$   $1/T = 3,19 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$

$\ln \eta = 2,80$  Па.с.  $\eta = 16,45$  Па.с. при  $55\text{ }^\circ\text{C}$ ,  
 $T = 328\text{ K}$   $1/T = 3,05 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$

Построена зависимость  $\ln \eta$ , Па.с от обратной температуры согласно формуле Френкеля-Эйринга  $\ln \eta = \ln A + E_a/RT$  (рис.4.7.), Здесь  $\ln A$  – коэффициент,  $E_a$  – энергия активации вязкого течения;  $R = 8,31$  – универсальная газовая постоянная.

Из наклона кривых зависимости  $\ln \eta - 1/T$  находили значения  $a = E_a/R$

$$a = E_a/R = (3,65 - 2,82)/(3,30 - 3,05) \cdot 10^{-3} = 3,32 \cdot 10^3$$

отсюда рассчитали значение энергии активации вязкого течения  $E_a$  равное:

$$E_a = aR = 3,2 \cdot 8,31 \cdot 10^3 = 27589\text{ Дж/моль} = 27,6\text{ кДж/моль}$$

Значение механической стабильности равно  $1,85$  при температуре  $25\text{ }^\circ\text{C}$ , что подтверждает высокие тиксотропные свойства предлагаемого геля с наночастицами серебра, обеспечивающие восстановление структуры после приложенных напряжений, возникающих при технологическом процессе изготовления данной мягкой лекарственной формы.

С целью установления течения геля, определяли его вязкость при скоростях, соответствующих скорости движения ладони при распределении мягкой лекарственной формы по поверхности кожных покровов и слизистой (скорость сдвига  $3,0$  и  $5,4\text{ c}^{-1}$ ), а также скорости технологической обработки скорость сдвига  $48,6$  и  $243\text{ c}^{-1}$ ) с последующим расчётом коэффициентов динамического течения геля. Данные показатели вычисляли по следующим формулам:

$$K_{a1} = \eta_{3,0} - \eta_{5,4} / \eta_{3,0} \cdot 100\%$$





$$K_{d2} = \eta_{48,6} - \eta_{243} / \eta_{48,6} * 100\%$$

Где  $\eta_i$  - эффективная вязкость при определенном значении градиента скорости сдвигового течения.

Коэффициенты динамического течения анализируемого геля при температуре 25°C составили  $K_{d1}=34,92\%$ ;  $K_{d2}=92,38\%$  что позволяет утверждать о удовлетворительной степени распределения системы при нанесении на кожные покровы и слизистую, а также во время технологического процесса приготовления.

**Выводы.** На основании результатов реологических исследований геля на основе субстанции экстракта травы Шлемник Искандарии сухой с наночастицами серебра можно делать

вывод о правильном выборе оптимальной композиции составляющих веществ исследуемой субстанции, о рациональной технологии получения геля, а также прогнозировать оптимальные условия хранения для поддержания стабильности предложенного лекарственного препарата на протяжении всего периода его использования. Было выявлено, что предлагаемый гель с наночастицами серебра обладает высокими тиксотропными свойствами, обеспечивающими восстановление структуры после приложенных напряжений, возникающих при технологическом процессе изготовления данной мягкой лекарственной формы.

#### Список литературы:

1. М.В. Самсонова. Наномедицина: современные подходы к диагностике и лечению заболеваний, вопросы безопасности // Пульмонология. 2008, 5:5-13.
2. Arora S., Radjwade J.M., Paknikar K.M.. Nanotoxicology and in vitro studies - the need of the hour. Toxicology and applied pharmacology. 2012 V. 258. P. 161.
3. Alexander, J.W. History of the medical use of silver // Surg Infect (Larchmt). – 2009. – Vol. 10, N 3. – P. 289-292.
4. Shen, D., Mathew, J. & Philip, D. Phytosynthesis of Au, Ag and Au-Ag bimetallic nanoparticles using aqueous extract and dried leaf of Anacardium occidentale. Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc. 2011 - 79, P. 254-262.
5. Chmielowiec-Korzeniowska, A. Bactericidal, fungicidal and virucidal properties of nanosilver. Mode of action and potential application. A review / A. Chmielowiec-Korzeniowska, L. Krzosek, L. Tymczyna, M. Pyrz, A. Drabik // Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. – 2013. – Vol. 31, N 2. – P. 1-11.
6. Egorova, E.M., Kaba, S.I. and Kubatiev A.A. Toxicity of silver nanoparticles obtained by bioreduction as studied on malignant cells: is it possible to create new generation of anticancer remedies,(A review). In: Applications of Nanobiomaterials (Ed. by A.M. Grumezescu) 2016, Vol. VII: Nanobiomaterials in Cancer Therapy, p. 505-542. Elsevier, North Holland,
7. Marambio-Jones C., Hoek E.M. V. A review of the antibacterial effects of silver nanomaterials and potential implications for human health and the environment // Journal of Nanoparticle Research. 2010 - Vol. 12. P. 1531
8. Шерматова И.Б. Перспективы применения наночастиц металлов в медицине//Фармацевтическая наука и практика:



проблемы, достижения, перспективы развития // Харків Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, НФаУ-2021, С.259.

9. Díaz D.D. Welcome to Gels—An Interdisciplinary Open Access Journal for a Growing Scientific Community. *Gels*. 2015;1: P. 1–2. doi: 10.3390/gels1010001. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
10. Fiorillo L., Laino L., De Stefano R., D’Amico C., Bocchieri S., Amoroso G., Isola G., Cervino G. Dental Whitening Gels: Strengths and Weaknesses of an Increasingly Used Method. *Gels*. 2019 - 5, P. 35. doi: 10.3390/gels5030035. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
11. Зырянов В.А. Современное состояние отечественного фармацевтического рынка гелей: анализ и перспективы дальнейшей разработки // Актуальные проблемы медицины. 2016. №26 С. 247.
12. Tabilo-Munizaga, G.; Barbosa-Cánovas, G.V. Rheology for the Food Industry. *Journal of Food Engineering* 2005, 67(1–2), P. 147–156. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062. [Crossref], [Web of Science ®], [Google Scholar]
13. Никитина Н.В., Степанюк С.Н.. Разработка дерматологической мази с экстрактом почек *Populus nigra*. Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Медицина. Фармация, 2010 - 11 (1687): С. 120-126.