

РЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИБРИРУЮЩЕГО ПОЛИМЕРНОГО БЕТОНА**А. Г. Маслов, Д. В. Савелов**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Першотравнева, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: dvsavelov@gmail.com

На основании детального анализа известных реологических моделей, которые использовались для описания поведения сплошных сред, для моделирования свойств полимерного бетона, уплотняемого вибрационной нагрузкой, принята реологическая модель Зинера. Данная реологическая модель включает характерно расположенные упругие и вязкий элементы, которые наряду с обратимой и необратимой деформацией позволяют описать обратимую высокоэластичную деформацию, наиболее наглядно проявляющуюся у полимеров при вибрационном уплотнении. Найдены численные значения экспериментальных коэффициентов, которые позволяют с достаточной степенью точности определить динамический модуль упругой деформации, динамический модуль упругости элемента Максвелла и коэффициент динамической вязкости в зависимости от типа полимерного бетона и степени его уплотнения при вибрационном воздействии. Предложены теоретические зависимости для описания волнового процесса распространения деформаций в уплотняемом слое полимерного бетона, представленного в виде системы с распределенными параметрами, и его напряженно-деформированное состояние при вибрационном воздействии.

Ключевые слова: реологическая модель, полимерный бетон, колебания, деформация, теоретические зависимости.

РЕОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПОЛІМЕРНОГО БЕТОНУ, ЩО ВІБРУЄ**О. Г. Маслов, Д. В. Савелов**Кременчугський національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: dvsavelov@gmail.com

На підставі детального аналізу відомих реологічних моделей, які використовувалися для опису поведінки суцільних середовищ, було зроблено висновок, що ці реологічні моделі не можуть бути застосовані для моделювання процесу вібраційного ущільнення полімерного бетону, оскільки не враховують в належній мірі процес релаксації напружень, які безпосередньо пов'язані з реакцією структурного складу полімерного бетону на вібраційну дію при його деформації. Для моделювання властивостей полімерного бетону, що ущільнюється вібраційним навантаженням, прийнята реологічна модель Зінера. Дана реологічна модель складається з безлічі блоків, кожен з яких включає характерно розташовані між собою пружні та в'язкий елементи, які разом з оборотною і необоротною деформацією дозволяють описати оборотну високоеластичну деформацію, що найнаочніше виявляється у полімерів при вібраційному ущільненні. Для розглянутої реологічної моделі Зінера наведено хвильове рівняння коливань, що описує поширення хвиль деформацій в ущільнюваному шарі полімерного бетону, який представлено у вигляді системи з розподіленими параметрами, та отримано теоретичні залежності, що описують зміну напруження в ущільнювальному вібраційною дією полімерному бетоні залежно від деформації та реакцію шару полімерного бетону на вібраційну дію. Знайдені чисельні значення експериментальних коефіцієнтів, які дозволяють з достатньою мірою точності визначити статичний модуль пружної деформації полімерного бетону. Ґрунтуючись на результатах експериментальних досліджень для розробленого структурного складу полімерного бетону був визначений статичний модуль пружної деформації залежно від величини статичного тиску, що прикладався. Для визначених коефіцієнтів побудовано графічні залежності статичного модуля пружної деформації залежно від відносної щільності полімерного бетону. Розбіжність теоретичних і експериментальних даних з визначення статичного модуля пружної деформації при встановлених значеннях коефіцієнтів не перевищує 4...8 %. За допомогою знайдених чисельних значень експериментальних коефіцієнтів з достатньою мірою точності були визначені динамічний модуль пружної деформації, динамічний модуль пружності елементу Максвелла і коефіцієнт динамічної в'язкості залежно від типу полімерного бетону і ступеня його ущільнення при вібраційній дії. На побудованих графіках показано зростаюче значення динамічного модуля пружної деформації залежно від типу полімерного бетону і міри його ущільнення при вібраційній дії. Наведені чисельні значення динамічного модуля пружності елементу Максвелла залежно від типу полімерного бетону і міри його ущільнення при вібраційній дії. Показано графік зміни напружень у полімерному бетоні залежно від відносної щільності полімерного бетону при його вібраційному ущільненні.

Ключові слова: реологічна модель, полімерний бетон, коливання, деформація, теоретичні залежності.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В современном строительном производстве все более широкое применение находят материалы, которые в своем структурном составе совмещают органические и неорганические компоненты. Объединение в одну систему минерального скелета и полимеров позволило получить новый строительный материал – полимерный бетон, который отличается более высокими физико-механическими свойствами и эксплуатационными характеристиками [1].

В процессе вибрационного нагружения физико-механические свойства будут в значительной степени определять напряженно-деформированное состояние полимербетонной композиции, форму колебаний динамической системы вибрационной машины, её конструктивные особенности и основные рабочие параметры. Поэтому точное определение динамических характеристик вибрирующего полимерного бетона дадут возможность установить закон вибрационного воздействия на уплотняемую среду,

рациональный режим движения и устойчивость работы вибрационной машины, обеспечивающей высокоэффективное уплотнение с малой энергоемкостью.

Детальный анализ применяемых в реологии феноменологических моделей показывает, что поведение деформируемых сред моделировалось рядом структурных реологических моделей: упругой моделью Гука, вязкого (модели Ньютона) или вязкоупругого (модели Кельвина – Фогта) тела, моделью Бингама и моделью Мэрвина, которая наряду с упругими и вязкими свойствами учитывала и инерционные свойства среды [2, 3]. Процессы ползучести, замедления остаточных напряжений, релаксации напряжений в деформируемых средах в элементарном представлении описывались моделью Максвелла с последовательным сочетанием упругого и вязкого элементов, многоэлементными моделями Куна, Шкловского де Жена, Бургерса, Бургерса-Френкеля, Богуславского, а также их усовершенствованными аналогами [4–6]. Однако подавляющее большинство из перечисленных реологических моделей не применялось для описания поведения сплошной среды под действием вибрации.

Наиболее точно уплотняемая вибрационной нагрузкой среда была представлена в работах А. Г. Маслова [7–10]. Так в работах [8, 9] уплотняемая среда представлялась реологической моделью, которая описывает поведение сплошной среды с распределенными параметрами. При этом принималось, что уплотняемая среда имеет однородную структуру, а ее колебания при действии вибрации описывается волновым уравнением колебаний, которое учитывает упругие и вязкие свойства и не учитывает инерционные ее свойства и силы трения отдельных минеральных частиц.

В работе [11] предложена усовершенствованная реологическая модель вибрируемой бетонной смеси, которая наряду с упругими и вязкими свойствами, учитывает приведенную эффективную высоту слоя и коэффициент сопротивления, учитывающий затраты энергии на разрушение внутренних связей, вытеснение воздуха, переориентацию частиц и другие явления в уплотняемой среде.

Однако данные реологические модели не могут быть применены для моделирования процесса вибрационного уплотнения полимерного бетона, поскольку не учитывают в должной мере процесс релаксации напряжений, которая непосредственно связана с реакцией структурного состава полимерного бетона на вибрационное воздействие при его деформировании.

Наиболее точно уплотняемую полимерную бетонную среду можно представить реологической моделью Зинера, которая наряду с обратимой и необратимой деформацией описывает обратимую высокоэластичную деформацию, наиболее наглядно проявляющуюся у полимеров. В работе [12] полимерная бетонная композиция, моделируемая реологической моделью Зинера, представлялась как сплошная однородная среда, а ее колебания, при действии вибрации, описывалось волновым уравнением колебаний.

Однако для предлагаемой реологической модели не были определены ее основные характеристики – динамические модули упругой деформации и коэффициент динамической вязкости, который учитывает внутреннее трение в полимерной бетонной смеси.

Поэтому для правильного выбора основных параметров вибрационного оборудования и режимов вибрационного воздействия на полимерный бетон необходимо точно определить его основные динамические характеристики.

Цель работы – определение динамических характеристик вибрируемого полимерного бетона при его моделировании реологической моделью Зинера, которая наряду с обратимой и необратимой деформацией описывает обратимую высокоэластичную деформацию, наглядно проявляющуюся у полимерного связующего.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В процессе вибрационного уплотнения полимерного бетона каждый элемент его объема наряду с упругими и пластическими свойствами, обладает высокими эластичными свойствами и вязкостью, наиболее наглядно проявляющимися при снятии деформации у полимеров, а также кинетической и потенциальной энергией.

При этом инерционные, а также упругие, вязкие и пластические свойства равномерно распределены по всему объему полимерной бетонной композиции. Следовательно, полимерный бетон можно представить в виде системы с распределенными параметрами. При этом свойства полимерного бетона в каждом элементарном объеме представим обобщенной реологической моделью Зинера [12].

Рассмотрим процесс деформирования полимербетонного слоя (рис. 1). На вибрационный рабочий орган 3, подвешенный на упругих амортизаторах 2 к опорной раме 1, действует возмущение в виде гармонической силы $Q \sin \omega t$, в результате чего вибрационный рабочий орган 3 оказывает периодическое воздействие на слой полимерной бетонной смеси 4. Под действием внешней вибрационной нагрузки в деформируемом слое полимерной бетонной смеси 4 возникает напряженное состояние.

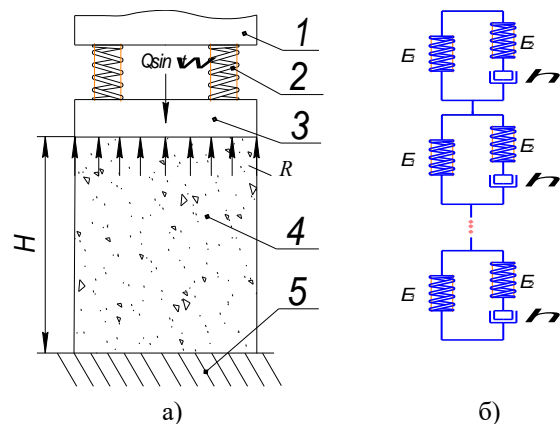


Рисунок 1 – Расчетная схема пластического деформирования полимербетонного слоя а) и модель обобщенной среды Зинера б):
1 – опорная рама; 2 – упругие амортизаторы;
3 – вибрационный рабочий орган;
4 – слой полимерного бетона; 5 – основание

Для рассматриваемой реологической модели дифференциальное уравнение, описывающее связь между напряжением и деформацией, будет иметь вид [12]:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \sigma \frac{E_2}{\eta} = (E_1 + E_2) \frac{d\varepsilon}{dt} + \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta} \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где E_1 и E_2 – динамические модули упругой деформации полимерного бетона; η – коэффициент динамической вязкости, учитывающий внутреннее трение в полимерной бетонной смеси; ε – деформация.

При гармоническом изменении напряжения деформация ε может быть описана выражением:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t), \quad (2)$$

где ε_0 – амплитуда деформации; ω – угловая частота вынужденных колебаний; t – время.

Подставив выражение (2) в уравнение (1), получим дифференциальное уравнение в следующем виде:

Подставив выражение (2) в уравнение (1), получим дифференциальное уравнение в следующем виде:

$$\frac{d\sigma}{dt} + \sigma \frac{E_2}{\eta} - \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta} \cdot \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) + (E_1 + E_2) \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t) = 0. \quad (3)$$

Решение дифференциального уравнения (3) будем отыскивать, представив напряжение σ в виде произведения двух функций:

$$\sigma = U \cdot V, \quad (4)$$

где U и V – неизвестные функции.

Для отыскания функций U и V подставим выражение (4) в исходное дифференциальное уравнение (3). Проведя преобразования, получим:

$$\frac{dU}{dt} \cdot V + U \cdot \left(\frac{dV}{dt} + \frac{E_2}{\eta} \cdot V \right) = \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta} \cdot \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) - (E_1 + E_2) \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (5)$$

Выберем в качестве V частное решение в виде:

$$\frac{dV}{dt} + \frac{E_2}{\eta} \cdot V = 0. \quad (6)$$

Тогда для отыскания U воспользуемся уравнением вида:

$$\frac{dU}{dt} \cdot V = \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta} \cdot \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega \cdot t) - (E_1 + E_2) \cdot \varepsilon_0 \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t). \quad (7)$$

Сначала найдем функцию V из выражения (6). Разделяя переменные и, проводя преобразования, получим:

$$V = e^{-\frac{E_2 \cdot t}{\eta}}. \quad (8)$$

Теперь приступим к отысканию функции U . Для этого подставим значение V из выражения (8)

в уравнение (7) и, выполняя преобразования, определим искомую функцию U в следующем виде:

$$U = \frac{\varepsilon_0 \cdot e^{-\frac{E_2 \cdot t}{\eta}}}{\left(\frac{E_2^2}{\eta^2} + \omega^2 \right)} \cdot \left[\left\{ \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta^2} - (E_1 + E_2) \cdot \omega^2 \right\} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \frac{\omega}{\eta} \cdot \{E_2^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2\} \cdot \cos(\omega \cdot t) \right]. \quad (9)$$

Подставляя найденные значения (8) и (9) искомых функций U и V в выражение (4) определим напряжения σ , возникающие в деформируемом слое полимерного бетона, в следующем виде:

$$\sigma = \frac{\varepsilon_0}{\left(\frac{E_2^2}{\eta^2} + \omega^2 \right)} \cdot \left[\left\{ \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta^2} - (E_1 + E_2) \cdot \omega^2 \right\} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \frac{\omega}{\eta} \cdot \{E_2^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2\} \cdot \cos(\omega \cdot t) \right]. \quad (10)$$

Используя зависимость (10) можно получить выражение для определения реакции полимербетонного слоя на вибрационное воздействие в зависимости от площади F поперечного сечения образца:

$$R = \frac{\varepsilon_0 \cdot F}{\left(\frac{E_2^2}{\eta^2} + \omega^2 \right)} \cdot \left[\left\{ \frac{E_1 \cdot E_2}{\eta^2} - (E_1 + E_2) \cdot \omega^2 \right\} \cdot \sin(\omega \cdot t) - \frac{\omega}{\eta} \cdot \{E_2^2 + 2 \cdot E_1 \cdot E_2\} \cdot \cos(\omega \cdot t) \right]. \quad (11)$$

Динамический модуль упругой деформации E_1 полимерного бетона существенно зависит от его типа (процентного содержания щебня и его фракций, песка, маршалита и полимерной смолы) и относительной плотности замеса. Значение модуля упругой деформации E_1 может быть найдено из следующей показательной зависимости [7, 13]:

$$E_1 = E_0 \cdot \left[1 + \mu \cdot \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_k - \rho_0} \right)^z \right], \quad (12)$$

где E_0 – динамический модуль упругой деформации неуплотненного полимерного бетона при начальной плотности ρ_0 ($E_0 = 26$ МПа); μ и z – экспериментальные коэффициенты, принимаемые соответственно 3,5 и 3; ρ – текущая плотность полимерного бетона, соответствующая прикладываемой динамической нагрузке P , кг/м³; ρ_0 – начальная плотность полимерного бетона, кг/м³; ρ_k – плотность полимербетонной смеси при нагрузке $P_k = 40$ МПа.

Основываясь на результатах экспериментальных исследований [1] для разработанного структурного состава полимерного бетона был определен статический модуль упругой деформации E_{1C} в зависимости от величины прикладываемого статического

давления, значение которого изменялось от 5 МПа до 40 МПа.

На рис. 2 показано сравнение теоретических и экспериментальных данных значения статического модуля упругой деформации E_{1C} в зависимости от относительной плотности $\varepsilon = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_k - \rho_0}$.

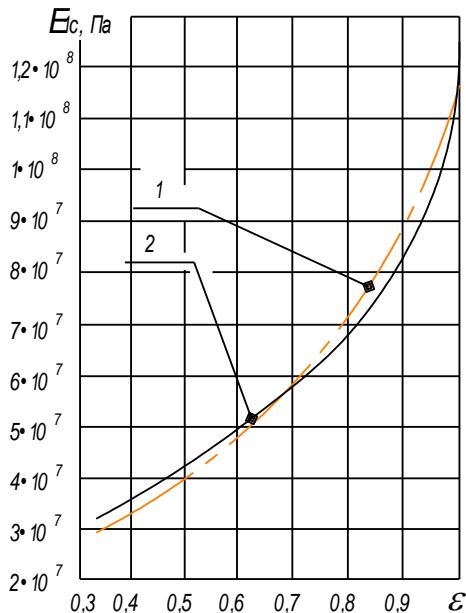


Рисунок 2 – Графики изменения теоретических и экспериментальных значений статического модуля упругой деформации E_{1C} в зависимости от относительной плотности ε : 1 – теоретическая кривая; 2 – экспериментальная кривая

Анализ полученных графических зависимостей показывает, что расхождение теоретических и экспериментальных данных по определению статического модуля упругой деформации E_{1C} при установленных значениях коэффициентов μ и z не превышает 8 %.

При приложении вибрационной нагрузки динамический модуль упругой деформации будет существенно зависеть от динамического модуля упругой деформации полимерной смолы и коэффициента трения между минеральными частицами и вяжущим полимерной бетонной смеси. В результате, для определения динамического модуля упругой деформации E_1 необходимо статический модуль упругой деформации E_{1C} уменьшить в 30-35 раз в зависимости от процентного содержания вяжущего.

На рис. 3 показано изменение динамического модуля упругой деформации E_1 полимерного бетона в зависимости от относительной плотности ε .

Динамический модуль упругости элемента Максвелла E_2 с достаточной степенью точности может быть определен из следующей зависимости [14]:

$$E_2 = E_M - E_1, \quad (13)$$

где E_M – модуль мгновенной упругости, который для большинства полимерных смол составляет $\approx 10^3$ МПа [14].

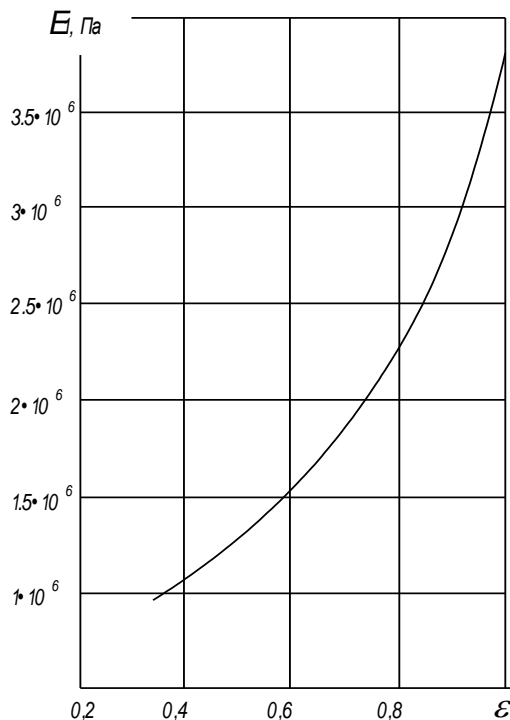


Рисунок 3 – График изменения значений динамического модуля упругой деформации E_1 в зависимости от относительной плотности ε

На рис. 4 показано изменение динамического модуля упругости элемента Максвелла E_2 в зависимости от относительной плотности ε .

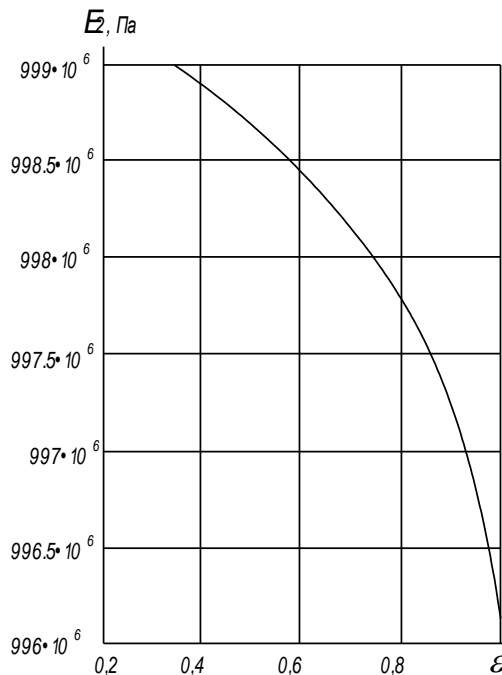


Рисунок 4 – График изменения значений динамического модуля упругости элемента Максвелла E_2 в зависимости от относительной плотности ε

Коэффициент динамической вязкости, учитывающий внутреннее трение в бетонной смеси существенно зависит от динамического модуля упругой деформации E_1 и угловой частоты вынужденных колебаний и может быть определен из следующей зависимости [7]:

$$\eta = c \cdot \rho \cdot H_1, \quad (14)$$

где c – скорость распространения возмущения в уплотняемом слое, которая в первом приближении определяется по зависимости $c = \sqrt{E/\rho}$; H_1 – приведенная толщина уплотняемого слоя полимерного бетона, принимаемая в зависимости от направления прикладываемой вибрационной нагрузки и соотношения между толщиной слоя и длиной волны возмущения $L = (2 \cdot \pi / \omega) \cdot \sqrt{E/\rho}$.

В соответствии с рис. 1, когда вибрационная нагрузка прикладывается на поверхность полимерного бетона, уплотняемого на жестком основании и $H \geq L/4$, $H_1 = 0,7 \cdot L/4$ [7].

На рис. 5 приведен график изменения напряжений в полимерном бетоне в зависимости от относительной плотности ε .

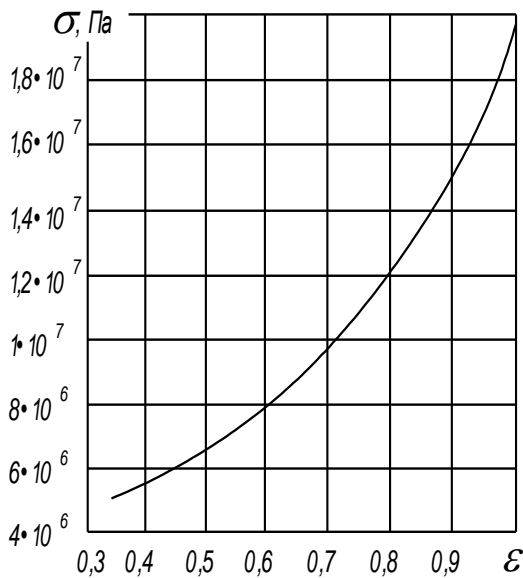


Рисунок 5 – График изменения напряжений в полимерном бетоне в зависимости от относительной плотности ε

ВЫВОДЫ. Таким образом, для уплотняемого вибрационной нагрузкой полимерного бетона, свойства которого моделировались реологической моделью Зинера, получены теоретические выражения для определения напряжений в зависимости от относительной плотности ε . Найдены численные значения экспериментальных коэффициентов, которые позволяет с достаточной степенью точности определить динамический модуль упругой деформации E_1 , динамический модуль упругости элемента Максвелла E_2 и коэффициент динамической вязкости в

зависимости от типа полимерного бетона и степени его уплотнения при вибрационном воздействии.

Полученные зависимости позволяют описать волновой процесс распространения волн деформаций в уплотняемом слое полимерного бетона, представленного в виде системы с распределенными параметрами, и его напряженно-деформированное состояние при вибрационном воздействии.

Приведенные теоретические и экспериментальные данные, расхождение между которыми не превышает 4...8 %, позволяют сделать вывод о том, что реологическая модель Зинера может быть использована для адекватного описания поведения реальной динамической системы «вибрационный рабочий орган – полимерный бетон» для качественной оценки действия упругих, диссипативных и инерционных сил со стороны полимерного бетона на вибрационный рабочий орган формирующего оборудования и на процессы, происходящие в самом полимерном бетоне при его вибрационном уплотнении, обоснования рациональных параметров вибрационного оборудования и режимов вибрационного воздействия на полимерный бетон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Разработка структурного состава полимерного бетона. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2018. Вип. 4/2018 (111). С. 94–99.
2. Chen X., Wu S., Zhou J. Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete. *Construction and Buildings Materials*. 2013. Vol. 47. P. 662–670.
3. P. F. G. Banfill, et al. Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41, № 9. P. 932–941.
4. Бобрышев А. Н., Ерофеев В. Т., Козоматов В. Н. Физика и синергетика дисперсно-неупорядоченных конденсированных композитных систем. Наука, Санкт-Петербург, 2012. 473 с.
5. Bogomolov V., Zhdanyuk V. A., Tsynka, P. G. Viscoelastic structural model of asphalt concrete. *Автомобильный транспорт*, 2016. Вып. 2016. С. 117–123.
6. Kłosiński J., Trąbka A. Frequency analysis of vibratory device model (in Polish). *Pneumatyka*. 2010. Vol. 1. P. 46–49.
7. Маслов А. Г., Пономарь В. М. Вибрационные машины и процессы в дорожном строительстве. Київ : Будівельник, 1985. 128 с.
8. Маслов А. Г., Иткин А. Ф. Теоретические основы вибрационного уплотнения цементобетонных смесей. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2004. Вип. 5. С. 45–49.
9. Маслов А. Г., Иткин А. Ф. Определение энергоемкости процесса вибрационного уплотнения

цементобетонных смесей. *Вісник Кременчуцького національного політехнічного університету*. 2006. Вип. 2/2006 (37), част. 1. С. 34–36.

10. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Теоретические исследования процесса взаимодействия вибраторной головки грунтопрокальвающей установки с грунтом. *Зб. наук. пр. Кіровоградського державного технічного університету. Техніка в сільськогос-подарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2003. Вип. 13. С. 26–32.

11. Маслов А. Г., Жанар Батсайхан. Исследование колебаний рабочего органа машины для уплотнения бетонных смесей в вибрационном рабочем режиме. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2015. Вип. 2 (91), частина 1. С. 92–97.

12. Маслов А. Г., Савелов Д. В. Определение возмущающей нагрузки, необходимой для уплотнения полимерного бетона. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2019. Вип. 2/2019 (115). С. 141–145.

13. Маслов А. Г., Олейник С. В. Исследование характера взаимодействия вибрационного рабочего органа пресса с асфальтобетонной смесью. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, 2012. Вип. 6/2012 (77). С. 70–73.

14. Бобрышев А. Н., Воронов П. В., Галимов Э. Р., Лахно А. В., Абдуллин И. А. Кинетические модели релаксации напряжений в композитах. *Вестник Технологического университета*. 2014. Вип. 17/2014 (14). С. 431–434.

RHEOLOGICAL MODEL OF POLYMER CONCRETE THAT VIBRATES

A. Maslov, D. Savielov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: dvsavelov@gmail.com

Purpose. On the basis of a detailed analysis of the known rheological models used to describe the behavior of solid media, it was concluded that these rheological models cannot be used to simulate the vibration compaction process of polymer concrete, since they do not properly account stress relaxation process' due to the reaction of the structural composition of the polymer concrete to the vibration action during its deformation. **Methodology.** To simulate the properties of polymeric concrete, which is compacted by vibration load, a Ziner's rheological model is adopted. This rheological model consists of many blocks, each of which includes characteristically located elastic and viscous elements, which together with reversible and irreversible deformation allow us to describe the reversible highly elastic deformation, which is most evident in polymers in vibration compaction. **Results.** For the considered Zinner rheological model, the wave equation of oscillations is described, which shows the propagation of deformation waves in a compacted layer of polymer concrete, which is presented in the form of a system with distributed parameters, and theoretical dependences are described, describing the change in stress in a compacted vibrationformation by the action of vibrationformation layer of polymer concrete for vibration action. Numerical values of the experimental coefficients were found, which allow to determine with sufficient accuracy the static modulus of elastic deformation of polymer concrete. Based on the results of the experimental studies, a static modulus of elastic deformation was determined for the developed structural composition of the polymer concrete, depending on the amount of static pressure applied. **Originality.** For the determined coefficients, graphical dependences of the static modulus of elastic deformation depending on the relative density of polymer concrete are constructed. The discrepancy between theoretical and experimental data for determining the static modulus of elastic deformation at the established values of the coefficients does not exceed 4...8%. **Practical value.** Using the numerical values of the experimental coefficients found with sufficient accuracy, the dynamic modulus of elastic deformation, the dynamic modulus of elasticity of the Maxwell element and the coefficient of dynamic viscosity depending on the type of polymer concrete and the degree of its compaction during vibration action were determined. The constructed graphs show the increasing value of the dynamic modulus of elastic deformation depending on the type of polymer concrete and the degree of its compaction under vibration action. The numerical values of the dynamic modulus of elasticity of the Maxwell element are given, depending on the type of polymer concrete and the degree of its compaction under vibration action. The graph of stress changes in polymer concrete depending on the relative density of polymer concrete with its vibration seal is shown.

Key words: rheological model, polymer concrete, oscillation, deformation, , the sealing environment.

REFERENCES

1. Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2018), "Development of structural composition of polymer concrete", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University*, Kremenchug: KRNU, Issue 4/2018 (111), pp. 94 – 99.

2. Chen X., Wu S., Zhou J. (2013), Experimental study and analytical formulation of mechanical behavior of concrete, *Construction and Buildings Materials*, 47, pp. 662–670.

3. Banfill, P. F. G *et al.* (2011), "Rheology and vibration of fresh concrete: Predicting the radius of action of poker vibrators from wave propagation," *Cement and Concrete Research*, vol. 41, no. 9, pp. 932-941.

4. Bobryshev, A. N., Erofeev, V. T., Kozomahov, V. N. (2012), *Fizika i sinergetika dispersno-neuporyadochennyh kondensirovannyh kompozitnyh sistem* [Physics and synergetics of dispersed disordered

condensed composite systems], Nauka, Sankt-Peterburg, Russia.

5. Bogomolov, V., Zhdanyuk, V. A., Tsynka, P. G. (2016), "Viscoelastic structural model of asphalt concrete", *Road transport*, pp. 117-123.

6. Kłosiński, J., Trąbka, A. (2010), Frequency analysis of vibratory device model (in Polish), *Pneumatyka*, 1, pp. 46-49.

7. Maslov, A. G., Ponomar', V. M. (1985), *Vibracionnye mashiny i processy v dorozhnom stroitel'stve* [Vibration machines and processes are in travelling building], Budivel'nik, Kiev, Ukraine.

8. Maslov, A. G., Itkin, A. F. (2004), "Theoretical foundations of the vibration compaction of concrete mix", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University*, Kremenchug: KDPU, Issue (28), pp. 45 – 49.

9. Maslov, A. G., Itkin, A. F. (2006), "Determination of energy intensity of the process of vibration compaction of cement concrete mixtures", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnic University*, Kremenchug: KDPU, Issue (37), pp. 34 – 36.

10. Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2003), "Theoretical researches of process of co-operation of oscillation head of the *грунтопрокальвающей* setting with soil", *Transactions of Kirovohrad State of Technical University*, Kirovohrad: KDTU– Issue (13), pp. 26 - 32.

11. Maslov, A. G., Batsaikhan, Zhanar (2015), "The Research of oscillations of the machine working body of the for compaction of concrete mixes in vibration working mode", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Kremenchug: KRNU, Issue (91), pp. 92 – 97.

12. Maslov, A. G., Savelov, D. V. (2019), "Determination of excitation load, necessary for sealing polymer concrete", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Kremenchug: KRNU, Issue 2/2019 (115), pp. 141 – 145.

13. Maslov, A. G., Oleynik, S. V. (2012), "Study of interact between the press executive device and asphalt mix", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, Kremenchug: KRNU, Issue 6/2012 (77), pp. 70 – 73.

14. Bobryshev, A. N., Voronov, P. V., Galimov, E. R., Lahno, A. V., Abdullin, I. A. (2014), "The kinetic models of stress relaxation in composites", *Transactions of technological University*, Issue 17/2014 (14), pp. 431 – 434.

Стаття надійшла 17.09.2019.