

МІСТОБУДУВАННЯ
ТА ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ

ВИПУСК 61

(спеціальний випуск)

2016



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

МІСТОБУДІВАННЯ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ

Науково-технічний збірник

Заснований у 1988 році

ВИПУСК №61
(спеціальний)

Цей випуск присвячений пам'яті професора Барашикова А.Я.
Збірник підготовлено за матеріалами доповідей і повідомлень зроблених на
Міжнародній науково-практичній конференції
**«БУДІВЛІ ТА СПОРУДИ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ:
СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ ТА КОНСТРУКЦІЇ»**
(2-3 червня 2016 року).

Організатори конференції:

Міністерство освіти і науки України,
Міністерство оборони України,
Академія будівництва України.

ПАРТНЕРИ КОНФЕРЕНЦІЇ



Оргкомітет висловлює щирю подяку
представництву Польської академії наук
в м. Києві та особисто
професору Генріку Собчуку

Тези доповідей і повідомлень конференції опубліковані в окремих виданнях.

Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник / Відпов. ред. М.М. Осетрін. – К., КНУБА, 2016. – Вип. 61 (спеціальний) – 475 с.

Українською та російською мовами.

В збірнику висвітлюються інженерні та економічні проблеми теорії і практики містобудування, територіального планування, управління містобудівельними системами і програмами, комплексної оцінки, освоєння, розвитку, утримання та реконструкції територій і житлової забудови, розглядаються нагальні питання містобудівного кадастру, розвитку населених пунктів, їх інженерної та транспортної інфраструктури.

Градостроительство и территориальное планирование: Науч.-техн. сборник / Ответ. ред. Н.Н. Осетрин. – К., КНУБА, 2016. – Вып. 61. – 475 с. На украинском и русском языках.

В сборнике освещаются инженерные и экономические проблемы теории и практики градостроительства, территориального планирования, управления градостроительными системами и программами, комплексной оценки, освоения, развития, содержания и реконструкции территории и жилой застройки, рассматриваются насущные вопросы градостроительного кадастра, развития населенных пунктов, их инженерной и транспортной инфраструктуры.

Відповідальний редактор - кандидат технічних наук, професор М.М. Осетрін.

Редакційна колегія: доктор технічних наук, професор Габрель М.М.; член-кореспондент АМ України, доктор архітектури, професор Дьомін М.М.; доктор технічних наук, професор Карпінський Ю.О.; доктор технічних наук, професор Ключниченко Є.Є.; доктор архітектури, професор Лаврик Г.П.; доктор технічних наук, професор Лященко А.А.; кандидат технічних наук, доцент Мамедов А.М. (заст. відп. редактора); доктор географічних наук, професор Нудельман В.І.; доктор архітектури, професор Панченко Т.Ф.; доктор технічних наук, професор Плоский В.О.; кандидат технічних наук, професор Рейцен Є.О.; доктор технічних наук, професор Самойлович В.В.; доктор технічних наук, професор Сергейчук О.В.; доктор архітектури, професор Слепцов О.С.; доктор архітектури, професор Тімохін В.О.; доктор технічних наук, професор Усаковський С.Б.; доктор архітектури, професор Фільваров Г.И.; доцент Чередніченко П.П. (відп. секретар); дійсний член АМ України, доктор технічних наук, професор Яковлев М.І.

Рекомендовано до видання вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол №44 від 27 травня 2016 року.

На замовних засадах

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2016

Першаков В.М., Белятинський А.О., Лисницька К.М. Підсилення залізобетонних та кам'яних конструкцій в аварійних та реконструйованих будівлях	101
Афанасьєва Л.В. Залізобетонні конструкції в умовах високошвидкісного удару	108
Поклонський В.Г., Фесенко О.А., Байтала Х.З., Круковський П.Г., Перепелиця М.С., Новак С.В., Калафат К.В. Вогнестійкість сталеві балки настилу	114
Гомон С.С., Павлюк А.П., Поліщук М.В. Зміна положення нейтральної лінії балок з цільної деревини за косоного згину в залежності від характеру обпирання і прикладання навантаження	120
Бабяк І.П. Вплив базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва.....	128
Білик С.І. Вплив початкових прогинів на стійкість сталевих колон за аналізом експериментальних даних	136
Барабаш М.С., Башинская О.Ю., Запоточний Р.М. Методика определения деформацій ползучести на прикладі мостових конструкцій	147
Брайченко С.П., Маргаль І. В., Гивлюд М.М. Витривалість композиційних бетонів на основі сірки при циклічних навантаженнях.....	155
Демчина Б.Г., Шидловський Я.М. Дослідження міцності та деформативності дощатих арок на металозубчатих пластинах	164
Войцехівський О.В., Байда Д.М., Сазонова І.Р. Використання дволінійних діаграм деформування матеріалів при розрахунках залізобетонних конструкцій за деформаційним методом.....	173
Войцехівський О.В., Байда Д.М., Попов В.О. Результати обстеження та оцінка технічного стану мостової Споруди через річку Південний Буг по вул. В. Чорвола у м.Вінниця.....	193
Доброхлоп М. І. Перспективи використання композиційних матеріалів на основі грубого базальтового волокна у будівлях і спорудах спеціального призначення	203
Журавський О.Д., Горобець А.М. Моделювання роботи попередньо-напружених сталевібробетонних плит при поперечному згині	209
Зятюк Ю.Ю. Результати експериментальних досліджень залізобетонних балок підсилені в стиснутій і розтягнутій зонах	216

д.т.н. **Барабаш М.С.**,
Национальный Авиационный Университет, Киев
аспирантка **Башинская О.Ю.**,
Национального Авиационного Университета, Киев
Запоточний Р.М.,
главный инженер ТзОВ «Спецбудсервис», Львов

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЛЗУЧЕСТИ НА ПРИМЕРЕ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В статье рассматриваются результаты влияния эндогенных и экзогенных факторов на развитие деформаций усадки и ползучести на примере расчетной схемы моста в ПК «ЛИРА - САПР». А также приводятся основные методы решения уравнения равновесия упруго – ползучей среды.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, упругое последствие, мгновенные деформации, реологические свойства бетона, ползучесть, усадка, численное моделирование

The article considers the results of the effect of endogenous and exogenous factors on the development of shrinkage strain and creep at the example of the computational model of the bridge at the software "Lira - CAD". Also the main methods for solving the equations of equilibrium of elastic - creep environment are supplying.

Keywords: stress-strain state, instantaneous deformation, rheological properties of concrete, creep, shrinkage, numerical modelling

Вступление

Надежность и долговечность бетонных и железобетонных конструкций и сооружений не может быть обеспечена без учета важных особенностей деформирования бетона. Реологические свойства бетона, обусловленные, в основном, его свойством ползучести, оказывают большое влияние на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкции во времени, даже если внешняя нагрузка не претерпевает особых изменений. Так, с течением времени происходит перераспределение усилий между сильно и слабо нагруженными элементами, между арматурой и бетоном в сечениях элементов [7, 9].

Нарастание перемещений во времени также оказывает существенное влияние на НДС конструкции, изменяющееся с течением времени. Особенно это сказывается для таких конструкций, как пологие железобетонные оболочки, для которых уменьшение стрелы подъема может сказаться на увеличении усилий в несколько раз и привести к аварии. Прогнозирование длительного

деформирования бетона во времени является актуальным, т.к. от правильного учета этих особенностей бетона и железобетона при проектировании зависит надежность и долговечность сооружений, а также соответствие сооружения предъявляемым к нему требованиям.

Необходимо отметить, что проектируемое сооружение кроме надежности, безопасности и экономической целесообразности должно обеспечить функциональную пригодность. Определение функциональной пригодности сооружений невозможно без правильного прогнозирования перераспределения напряжений между бетоном и арматурой происходящего вследствие ползучести бетона.

Действующие нормы проектирования практически не учитывают фактор времени и срок службы в расчетах несущих конструкций. Однако, с течением времени железобетонные конструкции изменяют свои жесткостные характеристики, в частности снижаются прочность и модуль упругости бетона.

Напряжения в арматуре и бетоне следует определять по расчетным диаграммам состояния материалов исходя из суммарных относительных деформаций от всех воздействий, включая начальные и развивающиеся в процессе эксплуатации конструкции (усадка, ползучесть, набухание, предварительное напряжение, самонапряжение и т. п.).

Развивающийся во времени процесс разрушения связывают с явлением ползучести, вследствие чего происходит накопление повреждений. Кривую длительной прочности строят в координатах напряжение-время до разрушения для данного напряжения. В двойных логарифмических координатах часто получают два отрезка прямых. Первый участок соответствует вязкому разрушению при высоких уровнях нагрузок, второй участок соответствует хрупкому разрушению в результате накопления микротрещин в межзеренных образованиях.

Несущая способность эксплуатируемой конструкции может быть точно установлена лишь при ее разрушении, что неприемлемо с практической точки зрения, а неразрушающие методы контроля дают лишь косвенную информацию о состоянии объекта. Поэтому важным моментом становится проведение численного эксперимента по определению действительного напряженно-деформированного состояния.

Основные методы определения деформаций ползучести

В общем виде полные деформации любого материала можно представить в виде суммы упругих деформаций и деформаций ползучести [1] и выразить при помощи интеграла Вольтерры:

$$\varepsilon(t, t_0) = \frac{\sigma_x(t)}{E(t)} - \int_{t_0}^t \sigma_x(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right] dt, \quad (1)$$

где t_0 – первоначальный момент времени, t - рассматриваемый момент времени определения деформаций, τ - время приложения загрузки.

Ядро этого уравнения выражается в виде:

$$K(t, \tau) = \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \right], \quad (2)$$

где $\frac{1}{E(\tau)}$ – модуль мгновенной деформации, $C(t, \tau)$ – мера ползучести бетона.

Существует много различных гипотез по определению меры ползучести бетона, но максимально согласуется с экспериментальными данными теория, согласно которой меру ползучести выражают в виде следующей функциональной зависимости:

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau) f(t - \tau), \quad (3)$$

При этом функцию $f(t - \tau)$ следует выражать в виде суммы экспоненциальных функций вида:

$$f(t - \tau) = \sum_{k=0}^m B_k e^{-\gamma_k(t-\tau)}, \quad (4)$$

где B_k и γ_k - постоянные, подобранные надлежащим образом для данного материала, причем

$$B_0 = 1, \gamma_0 = 0 \text{ и } \gamma_k > 0.$$

А функцию $\varphi(\tau)$ следует представлять в виде

$$\varphi(\tau) = C_0 + \sum_{k=1}^m \frac{A_k}{\tau^k} \text{ при } (\tau > 0), \quad (5)$$

где C_0 - предельное значение меры ползучести, A_k, τ^k - некоторые параметры, которые зависят от свойств и условий старения для данного материала.

Но при оценке влияния ползучести на напряженно - деформированное состоянии мостов обязательно следует также учитывать изменение во времени модуля мгновенной деформации бетона. И очень большую роль играет выбор закона изменения этого модуля во времени.

Функции гиперболического типа в такой задаче не дают удовлетворяющих результатов, поэтому лучше всего выражать изменение величины $E(\tau)$ также при помощи экспоненциальной зависимости:

$$E(\tau) = E_0 [1 - \beta e^{-\alpha \tau}], \quad (6)$$

где E_0, β, α - некоторые константы, которые зависят от состава и условий твердения данного бетона.

В EuroCode prEN 1992-1-1 [12] предложена формула для учёта влияния ползучести, согласно которой, на деформации упругого последствия оказывают влияние следующие факторы: температура окружающей среды, возраст бетона в момент нагружения, размеры сечения элемента и характеристики бетона. В этом случае деформации ползучести можно вычислить по формуле:

$$\varepsilon(\infty, t_0) = \varphi_0(\infty, t_0) \left(\frac{\sigma_c}{E_{c0}} \right). \quad (7)$$

При этом коэффициент ползучести $\varphi(T)$ следует определять по формуле:

$$\varphi(\tau) = \varphi_0 \left(\frac{\tau}{\tau + \beta_H} \right)^{0.3}, \quad (8)$$

где τ – количество суток (возраст бетона), по прошествии которых требуется учесть влияние ползучести; φ_0 – теоретический коэффициент ползучести, который показывает во сколько раз увеличивается деформация за бесконечное время действия нагрузки; β_H – коэффициент, что зависит от относительной влажности и теоретического размера элемента.

Функция старения $\varphi(\tau)$ непрерывна, ограничена и с увеличением возраста материала стремится к постоянной C_0 , то есть к величине меры ползучести в старом возрасте [2]:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \varphi(\tau) = C_0. \quad (9)$$

Алгоритм вычисления коэффициентов β_H и φ_0 приведён в [4].

Расчёт конструкции моста с учётом влияния эффекта ползучести в ПК «ЛИРА-САПР»

В качестве примера рассмотрим работу конструкции моста с учётом деформации упругого последствия согласно нормам EuroCode prEN 1992-1-1 [12].

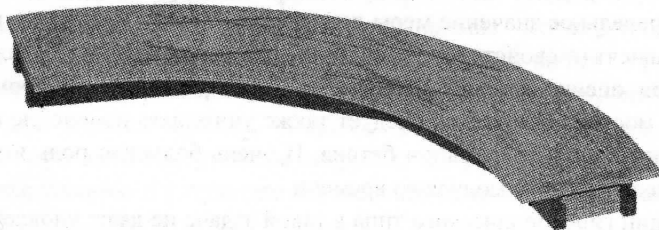


Рис. 4. Расчётная схема моста.

Работа железобетонных конструкций носит нелинейный характер. Расчётная модель моста была построена при помощи универсальных пространственных изопараметрических КЭ № 34 и 36 (для моделирования работы арматурных стержней) и физически нелинейных КЭ № 234 и 236 (для моделирования работы монолитного бетона). Для задания параметров нелинейного расчёта деформирования бетона был использован 15-й экспоненциальный закон.

При расчёте конструкции с учётом ползучести учитываются нелинейные деформации. Для учета нелинейности в ЛИРА –САПР был выбран простой шаговый метод с количеством шагов равным 30. Для выполнения нелинейного расчёта в ПК ЛИРА-САПР, с учетом степенного закона ползучести во времени (EuroCode prEN 1992-1-1), предварительно вычисляется коэффициент

ползучести φ_0 и коэффициент βH , которые зависят от относительной влажности (RH в %) и условного размера сечения (h_0 в мм).

Сравнение и анализ результатов расчёта выполнено по кинематическим характеристикам – перемещение расчётных характерных точек моста в направлениях «X», «Y», «Z».

Таблица 1. Максимальные перемещения моста, мм

Направление	Расчёт в упругой стадии	Расчёт с учётом ползучести				
		28 дней	365 дней	2 года	10 лет	50 лет
«X»	4.73	5.68	6.49	6.69	6.86	7.07
«Y»	3.27	3.93	4.5	4.65	4.76	4.91
«Z»	23.1	29	34.1	35.4	36.4	37.7

Из таблицы видно, что полученные перемещения по результатам расчёта с учётом ползучести значительно выше, нежели при обычном статическом расчёте. Со временем вертикальные перемещения начинают превышать максимально допустимые (в рассматриваемой конструкции они составляют 30 мм).

Вследствие проявления деформаций ползучести, в бетоне начинают меняться его физические характеристики. Изменение модуля деформации во времени для рассматриваемой расчётной схемы показано на рисунке 5.

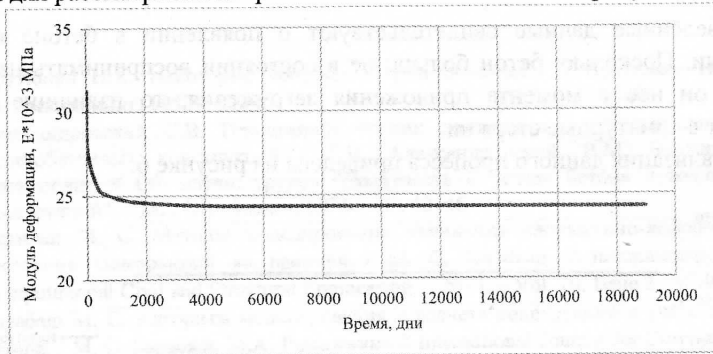


Рис. 5. График изменения модуля деформации в бетоне с течением времени.

Приведённый график показывает, что по мере старения бетона его модуль деформации $E(\tau)$ понижается, причем в молодом возрасте, особенно в первый месяц приложения загрузки $E(\tau)$ падает значительно быстрее. В дальнейшем, с увеличением возраста бетона, скорость понижения $E(\tau)$ постепенно также падает и приблизительно через год данное явление принимает асимптотический характер, т.е.

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} E(\tau) = E_0, \quad \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{dE(\tau)}{dt} = 0. \quad (10)$$

Следуя из этого выражения можно говорить, что начиная с некоторого возраста $\tau = \tau_0$, модуль деформации бетона $E(\tau_0)$ будет совсем незначительно отличаться от предельного значения E_0 . Это свидетельствует о том, что процесс твердения бетона практически завершился. Поэтому начиная с возраста $\tau = \tau_0$ бетон можно считать старым, так как время больше не оказывает такого сильного влияния на изменения величины его модуля деформации. А при всех значениях $\tau \geq \tau_0$ будет иметь место следующее асимптотическое равенство:

$$E(\tau) \approx E_0. \quad (11)$$

В результате изменения физических характеристик бетона, начинается происходить перераспределение усилий между составляющими элементов конструкции. Изменение напряженного состояния во времени в одном из объемных конечных элементов бетона мостового полотна представлено в таблице 2.

Таблица 2. Максимальные усилия в одном из КЭ мостового полотна, кН.

Усилие	Расчёт в упругой стадии	Расчёт с учётом ползучести				
		28 дней	365 дней	2 года	10 лет	50 лет
N_x	-3020	-2360	-2100	-2050	-1990	-1980
N_y	-2850	-2200	-1950	-1910	-1850	-1840

Приведённые данные свидетельствуют о появлении в бетоне явления релаксации. Поскольку бетон больше не в состоянии воспринимать нагрузку, которую он нёс с момента приложения загрузки, то излишние усилия переходят в арматурные стержни.

Визуализация данного процесса приведена на рисунке 6.

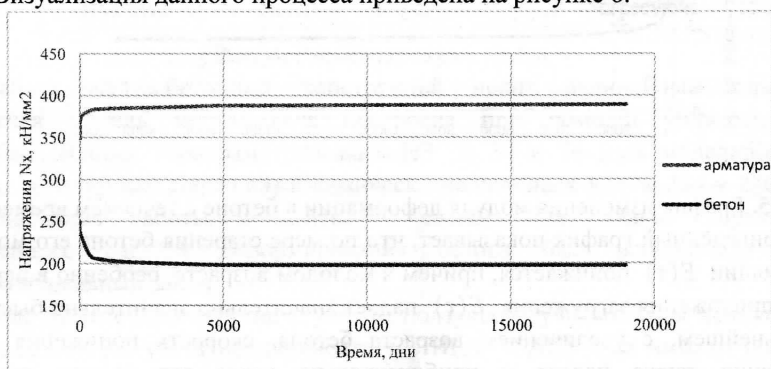


Рис. 6. Изменение продольных усилий с течением времени в бетоне и арматуре.

Таким образом, существенные изменения напряженно-деформированного состояния в бетоне и арматурных стержнях

свидетельствуют о недостаточности простого статического расчёта при проектировании мостовых сооружений.

Выводы

В статье были рассмотрены основные функциональные зависимости для решения задачи равновесия упруго – ползучей среды. Также проанализирована работа мостовой конструкции с учётом появления эффектов упругого последействия. Построены графики изменения статических и кинематических характеристик элементов конструкции.

Использование физически нелинейных законов деформирования, а именно компьютерное моделирование эффекта ползучести в задачах расчёта мостовых сооружений позволяет проанализировать процесс изменения их напряженно-деформированного состояния во времени. Отмечено увеличение напряжений в арматуре с течением времени, в связи с чем рекомендуется учитывать явление ползучести при проектировании мостовых конструкций.

Недостаточная оценка влияния реологических свойств бетона в процессе проектирования мостов может привести к непригодности конструкции к нормальной эксплуатации, а иногда и к аварийным последствиям.

Литература

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести / Арутюнян Н.Х. – М. : Гостехтеориздат, 1952 – 323 с.
2. Александровский С.В. Приложение теории ползучести к практическим расчетам железобетонных конструкций / С.В. Александровский, В.М. Бондаренко, И.Е. Прокопович // Сб. научн. трудов "Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций". – М. : Стройиздат, 1976. – С. 43–46.
3. Барабаш М. С. Методы моделирования изменения напряженно-деформированного состояния конструкций во времени / М. С. Барабаш // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2014. – Vol. 10, Issue 2. – С.92–100.
4. Барабаш М. С. Алгоритм моделирования и расчета конструкций с учётом ползучести бетона. / М. С. Барабаш, М.А. Ромашкина // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. – 2013. –Vol. 9, Issue 4. – С. 56–63.
5. Бондаренко В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М. : Стройиздат, 1982. – С. 123–136.
6. Васильев П.И. Приложение теории ползучести бетона к расчетам массивных конструкций и мостов / П.И. Васильев, Я.Д. Лившиц // Сб. научн. трудов "Ползучесть и усадка бетонов и железобетонных конструкций" – 1976. – С. 356–362.
7. Гурьева Ю.А. Некоторые приложения упрощенной теории нелинейной ползучести нестареющего бетона при сжатии / Ю.А. Гурьева // Промышленное и гражданское строительство. – 2008. – № 6. – С. 52–53.

8. Прокопович И.Е. Об учете влияния размеров элемента, влажности среды и нелинейной составляющей ползучести бетона при расчете релаксации и потерь преднапряжения / И.Е. Прокопович, В.И. Барановский, П.Л. Невелик // Строительные конструкции. – 1986. № 39 – С. 18–23.
9. Тамразян А. Г. Механика ползучести бетона / А. Г. Тамразян, С.Г. Есян. – М. : МГСУ, 2012. – 490 с.
10. Тур В. В. Экспериментально-теоритические основы предварительного напряжения конструкций при применениинапрягающего бетона / В. В. Тур. – Брест: БГТУ, 1998. – 246 с.
11. Хасин В.Л. К расчету железобетонных элементов с учетом нелинейной ползучести бетона / В.Л Хасин // Сб. научн. трудов "Пути повышения производительности труда, сокращения сроков проектирования и строительства транспортных сооружений". – 1986. – С. 123–136.
12. Eurocode 2: prEN 1992-1-1 «Design of concrete structures - Part 1: General rules and rules for buildings» - Annex B(Informative) Commition of European Communities, Des 1991. P 226.
13. Suvorova J. V. An approach to the description of time — dependent materials / J.V. Suvorova // Materials and Design.- 2003. - № 24 – P. 293—297.

МІСТОБУДУВАННЯ ТА ТЕРИТОРІАЛЬНЕ ПЛАНУВАННЯ

Науково-технічний збірник

Випуск 61

Має свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації в Державному комітеті інформаційної політики України (серія КВ № 4186 від 10 травня 2000 року).

Визнаний ВАК України, як наукове фахове видання України, в якому можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (Постанови президії ВАК України від 10 листопада 1999 р. №3-05/11 та 10 лютого 2010 р. №1-151).

Перелік розсилки даного збірника опубліковано у випуску № 4 за 1999 рік.

Вимоги до оформлення рукописів статей для опублікування в збірнику наведено у випусках №35 за 2009 рік, №42 за 2011 рік, №50 за 2014 рік та №55 за 2015 рік.

Зміст випусків збірника з №1 по №19 опубліковано у випуску за №20, випусків з №20 по №39 опубліковано у випуску за №40, з №40 по №54 у випуску за №55.

З випусками збірника, починаючи з №10, можна ознайомитись на сайті <http://www.nbuv.gov.ua> національної бібліотеки НАН України ім. В.І. Вернадського, з №25 на сайті <http://library.knuba.edu.ua> бібліотеки КНУБА та на сайті збірника <http://www.mtp.in.ua>.

Статті можна надіслати за адресою електронної пошти: zbirnyk@yahoo.com.

Адреса редколегії: 03037, м.Київ-37, Повітрофлотський пр., 31. КНУБА.
Тел.: 241-55-43, 245-42-04.

Підписано до друку 27.05.2016 р. Формат 60x84^{1/16}.
Обл.-вид. арк. . Тираж 150. Зам. №16-332.

ПАТ "ВІПОЛ"

03151, м.Київ-151, вул. Волинська, 60